МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА

И. Е. АНФИНОГЕНОВ, С. Н. КУЧИН

ЭЛЕКТРОННЫЙ

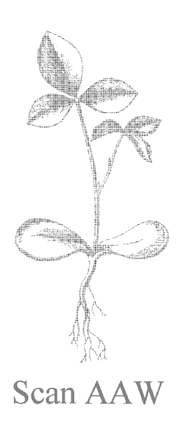


МАССОВАЯ
РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 866

И. Е. АНФИНОГЕНОВ, С. Н. КУЧИН

ЭЛЕКТРОННЫЙ ОРГАН





«ЭНЕРГИЯ» МОСКВА 1974

6Ф2.7
А73

УДК 681.816.61 : 681.828

Анфиногенов И. Е., Кучин С. Н.

А73 Электронный орган. М., «Энергия», 1974
56 с. с ил. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 866)

В книге описан электронный орган, удостоенный первой премии на 24-й Выставке радиолюбительского творчества. Приведены принципиальная схема и конструкторские чертежи, изложена методика настройки.

Книга рассчитана на подготовленных радиолюбителей.

$А \frac{30404\text{-}000}{051(01)\text{-}74}$ 309-74 **6Ф2.7**

Иван Ефимович Анфиногенов
Станислав Николаевич Кучин

Электронный орган

Редактор И. Г. Кудрин
Редактор издательства В. А. Абрамов
Художественный редактор Д. И. Чернышев
Обложка художника А. А. Иванова
Технический редактор М. П. Осипова
Корректор Г. Г. Желтова

Сдано в набор 12/V 1974 г.
Подписано к печати 24/IX 1974 г. Т-16632
Формат 84 × 108[1]/32 Бумага типографская № 2
Усл. печ. л. 2,94 Уч.-изд. л. 3,66
Тираж 20 000 экз. Зак. 227 Цена 16 коп.

Издательство «Энергия», Москва, М-114,
Шлюзовая наб., 10

Набрано в Московской типографии № 13
Союзполиграфпрома при Государственном
комитете Совета Министров СССР по делам
издательств, полиграфии и книжной
торговли. 107005, Москва, Б-5, Денисовский пер., 30.

Отпечатано во Владимирской типографии имени 50-летия Октября.
г. Владимир. Офицерская ул., д. 33. Зак. 6275

Предисловие

Основные задачи, которые в настоящее время стоят перед конструкторами электронных музыкальных инструментов (ЭМИ),— поиск новых путей улучшения качества их звучания, расширение исполнительских возможностей на основе создания новых звуковых эффектов и, что не менее важно, повышение эксплуатационной надежности.

Бурное развитие полупроводниковой электроники за последнее десятилетие создало техническую базу для конструирования более совершенных и эксплуатационно надежных ЭМИ, которые должны отвечать взыскательным требованиям музыкантов-исполнителей.

Прежде чем приступить к конструированию ЭМИ, полезно хорошо познакомиться с инструментами, находящимися в эксплуатации, выявить их слабые стороны и однозначно определить, какими характеристиками должен обладать новый образец, с тем чтобы не допустить повторения существующих недостатков. Всякого рода упрощения в схемах построения ЭМИ и несоблюдения основных требований к характеристикам различных блоков приведут к излишней потере времени и неприятным разочарованиям после его изготовления.

Предлагаемая читателю книга посвящена описанию сконструированного авторами электронного органа, который предназначен для исполнения как эстрадных, так и классических произведений

Описываемый электронный орган «Орфей» отмечен первым призом на 24-й Всесоюзной выставке радиолюбителей-конструкторов в Москве.

Авторы не ставили перед собой цель провести глубокий анализ возможных вариантов построения различного рода ЭМИ, а старались наиболее полно описать принципиальную схему и конструкцию разработанного ими электронного органа.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОННОГО ОРГАНА

Принцип построения современных электронных музыкальных инструментов. Появление в последнее время полупроводниковых приборов новых типов и интегральных схем послужило дополнительным стимулирующим фактором для разработок более современных и надежных электромузыкальных инструментов. В продаже появилось много различных по конструкции и звучанию ЭМИ. Кроме профессиональных лабораторий, которые постоянно занимаются созданием ЭМИ новых типов, большой вклад в дело совершенствования существующих инструментов и разработки новых типов вносят энтузиасты-любители.

Электромузыкальные инструменты находят широкое применение в составе различных ансамблей. Иногда они используются для имитации некоторых традиционных музыкальных инструментов.

Наряду со многими положительными свойствами ЭМИ имеют ряд недостатков, наиболее существенным является плохая стабильность музыкального строя. Это относится к большинству ЭМИ, изготовленными любителями. Такие инструменты требуют дополнительной подстройки перед каждым исполнением. Это создает неудобство в эксплуатации.

Кроме того, некоторые ЭМИ имеют резкое и фальшивое звучание аккордов, что быстро утомляет не только слушателей, но и исполнителя. Более чистым мелодичным звучанием выгодно отличаются одноголосные ЭМИ. Эти инструменты хорошо дополняют составы различных эстрадных оркестров, но они не могут использоваться в качестве самостоятельных и независимых солирующих инструментов эстрадного и классического планов.

Солирующий ЭМИ должен позволять исполнять мелодию и аккомпанемент одновременно. Окраска звучания мелодии и аккомпанемента должна быть различной и по желанию исполнителя изменяться в широких пределах.

Такой ЭМИ должен быть пригодным для исполнения как эстрадной, так и классической музыки. Его звучание должно отличаться сочностью, мелодичностью, отсутствием монотонности.

Кроме того, ЭМИ должен иметь широкие возможности как для имитации традиционных музыкальных инструментов, так и для создания новых звуковых эффектов.

Большинство конструкторов в погоне за модой и новыми звуковыми эффектами упускают основное требование к ЭМИ — отсутствие фальшивого немузыкального звучания. Особенно это сказывается в звучании аккордов. Кроме этого, как правило, все многоголосные инструменты формально имеют басовый диапазон; однако на самом деле басы этих инструментов звучат не мужественно, они напоминают шипящий звук и поэтому не могут быть использованы для качественного сопровождения мелодии. Спектральный состав

большинства музыкальных инструментов басовой группы характеризуется значительным ослаблением высших гармонических составляющих (обертонов). Основная доля энергии в спектральном составе таких инструментов заключена в первой гармонике. Снижение амплитуды первой гармоники или увеличение амплитуды обертонов приводит к ухудшению окраски (звучания) басового сопровождения — делает его скрипучим и резким, т. е. оно теряет мужественность и солидность.

Выбор функциональной схемы электронного органа. По принципу построения структурной схемы многоголосные ЭМИ можно разделить на два вида. К первому виду относятся ЭМИ, построенные по принципу задающие генераторы — делители частоты. На рис. 1 приведена упрощенная структурная схема образования звуко-

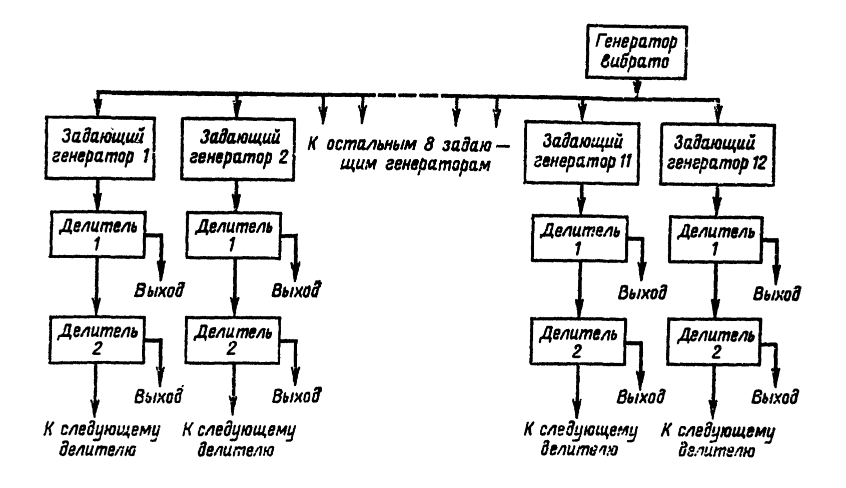


Рис. 1. Упрощенная структурная схема образования звукоряда в ЭМИ.

ряда подобных ЭМИ. Здесь 12 генераторов управляют цепочкой делителей частоты, обеспечивающих заполнение всего звукоряда инструмента.

Дополнительный генератор вибрато вырабатывает синусоидальное напряжение с частотой 6—8 Гц, которое поступает на все задающие генераторы для их частотной модуляции. Такая низкочастотная модуляция значительно снижает монотонность звучания ЭМИ и делает его более динамичным.

Обычно в ЭМИ с диапазоном 7—8 октав число делителей частоты достигает 80—100 шт. Иногда с целью уменьшения числа делителей частоты для формирования звуков верхней октавы используются задающие генераторы, но при этом синусоидальная форма сигнала должна быть преобразована в прямоугольную. Электромузыкальные инструменты первого вида очень удобны с точки зрения музыкальной настройки. В этом случае достаточно настроить частоты 12 задающих генераторов, а остальная часть звукоряда настраивается автоматически.

Однако, по мнению большинства музыкантов, инструменты, настроенные математически точно, звучат несколько фальшиво. Обычно при настройке роялей и пианино настройщики несколько изменяют частоты тонов на краях звукового диапазона, расширяя в низкочастотной и сжимая в высокочастотной части (кривая Рэйлсбека) относительно их точных математических значений. Многоголосые ЭМИ, построенные по принципу основные задающие генераторы — делители частоты не позволяют осуществить настройку инструмента с переменным шагом, и это принято считать их существенным недостатком.

Многоголосные ЭМИ второго вида строят по принципу на каждый звук — свой независимый задающий генератор. Такие инструменты обладают рядом ценных свойств, но реализация генераторной основы, а также управление тембрами при этом значительно сложнее, поэтому для изготовления в любительских условиях может быть рекомендован многоголосый ЭМИ первого вида.

Невозможность настройки ЭМИ с переменным шагом можно особенно не принимать во внимание, если учесть, что различие частот настройки относится только к низкочастотной и высокочастотной частям звукового диапазона, а для исполнения большинства музыкальных произведений используется только среднечастотный участок диапазона инструмента.

Описываемый электронный музыкальный инструмент (орган) состоит из 12 основных задающих генераторов, каждый из которых управляет цепочкой из 7 делителей частоты. Таким образом, чтобы перекрыть диапазон в 8 октав (что соответствует частотному диапазону от 34 до 8 372 Гц), потребуется 84 делителя частоты. Для уверенного запуска делителей частоты необходимо сформировать короткий импульс с крутым передним фронтом. С выхода задающих генераторов снимается сигнал синусоидальной формы, который не подходит для запуска делителей частоты. Поэтому синусоидальный сигнал необходимо преобразовать в прямоугольный и далее продифференцировать. Чтобы преобразователь формы не влиял на задающий генератор и не ухудшал стабильность частоты генерируемых колебаний, необходимо на выходе генератора предусмотреть эмиттерный повторитель в качестве буферного каскада. Напряжение, снимаемое с выхода делителей частоты, имеет симметричную прямоугольную форму. В спектре такого сигнала отсутствуют четные гармонические составляющие. При этом звучание носит своеобразный кларнетный оттенок, которое при постоянном использовании утомляет слух и не может быть рекомендовано для использования. Поэтому симметричное импульсное напряжение должно быть преобразовано так, чтобы в нем были ослаблены высшие гармонические составляющие, начиная с шестой гармоники. Для этого сигнал, снимаемый с делителя частоты, необходимо пропустить через фильтр нижних частот.

Введение фильтров особенно важно для улучшения звучания в низкочастотном диапазоне. Басы становятся «мужественными» и мягкими, более близкими по звучанию к традиционным музыкальным инструментам басовой группы. Звучание органа будет еще более динамичным и живым, если сигнал каждого тона, прежде чем он поступит на сборную шину, пропустить через манипулятор [1]

[1] В связи с расширением функции каскада, формирующего амплитудную огибающую сигнала звука, термин «манипулятор» часто заменяется термином «модулятор» (прим. ред.).

для управления временем нарастания (атакой) и затухания (спадом) звука. Изменяя время нарастания и затухания, можно получить дополнительные звуковые эффекты и приблизить звучание ЭМИ к обычным музыкальным инструментам. Теперь в результате проведенного анализа может быть выбрана структурная схема электронного органа, которая приведена на рис. 2. Для простоты

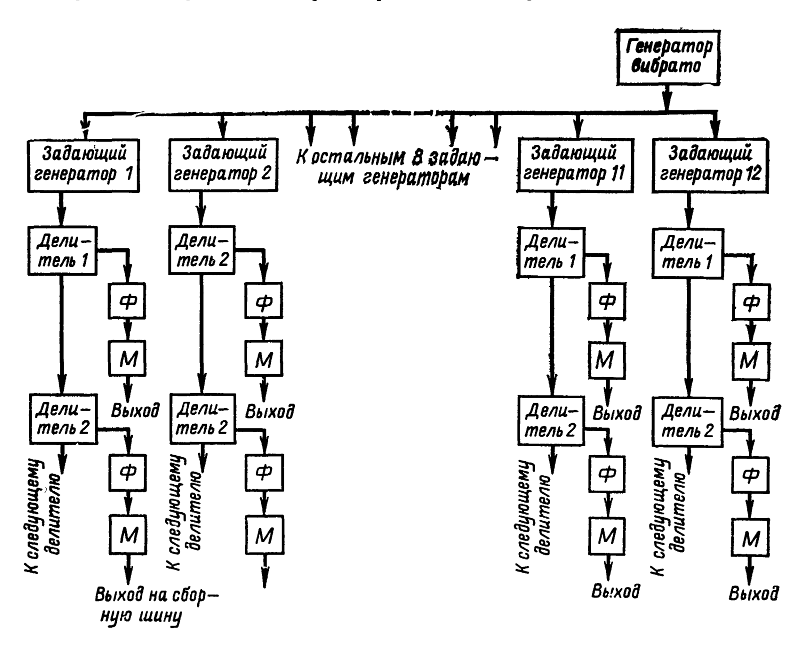


Рис. 2. Упрощенная структурная схема описываемого электронного органа.
Ф — фильтр, *М* — манипулятор.

рассмотрения здесь показана лишь схема образования сетки тонов и порядок соединения задающих генераторов, делителей частоты, фильтров и манипуляторов. Одновременно на структурной схеме показана цепь подключения частотного вибрато.

В процессе исполнения мелодии часто приходится изменять тембр звучания, а также исполнять мелодию и аккомпанемент с различной окраской. Для этого необходимо предусмотреть две независимые клавиатуры для правой и левой рук исполнителя и дополнительную педальную клавиатуру для басового сопровождения с помощью левой ноги. Правая нога исполнителя обычно занята регулированием уровня громкости.

Как правило, большинство мелодий легко укладывается по звучанию в три октавы. Для аккомпанемента вполне достаточно и двух октав. Одновременное исполнение мелодии и аккомпанемента требует диапазона инструмента не менее пяти октав.

Поэтому весь диапазон электронного органа может быть распределен следующим образом.

Верхняя клавиатура должна перекрывать диапазон не менее трех октав, нижняя клавиатура — не менее четырех октав и педальная — не менее одной октавы.

С целью расширения исполнительских возможностей вибрато должно действовать независимо на верхнюю и нижнюю клавиатуры, что дает возможность исполнять мелодию с глубокой вибрацией, а сопровождение и басовый аккомпанемент со слабым вибрато или вообще без него.

Поэтому в описываемом инструменте предусмотрены два вида вибрато: частотное и фазовое, несколько отличающиеся друг от друга по окраске звучания. Они могут быть использованы одновременно либо раздельно.

Расширение исполнительских возможностей также дает эффект тремоло. Тремоло позволяет имитировать струнные щипковые музыкальные инструменты, а в совокупности с частотным и фазовым вибрато позволяет получить новые звуковые эффекты. Практика показала, что эффект тремоло достаточно вводить только для одной клавиатуры, например для верхней. Нижняя клавиатура в этом случае используется для аккомпанемента.

Звучание электронного органа становится более живым и объемным, если предусмотреть устройство для реверберации. Необходимое время реверберации для этой цели не должно быть более 1—2 с. В низкочастотной части звукового диапазона время реверберации целесообразно несколько увеличить.

В процессе исполнения громкость звучания постоянно изменяется исполнителем в широких пределах. При этом устройства регулирования должны иметь высокую эксплуатационную надежность, достаточный диапазон регулирования, малый уровень нелинейных искажений и собственных шумов.

Использование для этих целей обычных мастичных потенциометров приводит к частому выходу их из строя ввиду малого срока службы.

В описываемом инструменте выбран бесконтактный способ управления громкостью, который отвечает поставленным требованиям.

Качество звучания электронного органа во многом зависит от характеристик выбранного оконечного усилителя и акустической системы, которые должны обладать достаточной мощностью при малых нелинейных искажениях.

Уровень шумов усилителя должен быть не более — 50 дБ относительно минимального уровня, который используется при репетиции.

В предварительном усилителе целесообразно предусмотреть возможность изменять частотную характеристику усилителя в области низких и высоких звуковых частот, а также вывести гнезда для подключения звукоснимателя, магнитофона и контрольных телефонов для бесшумной репетиции.

Известны два основных способа изменения тембра звучания ЭМИ: с помощью формантных фильтров и гармонического синтеза.

Формантные фильтры эффективно работают только в узкой части звукового диапазона в соответствии с частотой их настройки. В результате этого они имеют ограниченное применение в многоголосных ЭМИ.

В этом случае наиболее подходят формантные фильтры с широкой полосой пропускания или комбинации из ряда узкополосных фильтров.

Наиболее удобен для целей темброобразования в многоголосных ЭМИ принцип гармонического синтеза, т. е. выбор окраски звучания путем изменения соотношения гармонических составляющих в спектре сигнала. Однако при этом трудно получить достаточное количество различных комбинаций, влияющих на окраску звука. Поэтому в многоголосных ЭМИ чаще всего используется комбинированный способ темброобразования, в котором удачно сочетаются преимущества гармонического синтеза и возможности формантных фильтров.

В данном инструменте используется принцип гармонического синтеза в сочетании с небольшим числом формантных фильтров, что совместно с вибрато, тремоло, реверберацией, с регулируемым временем нарастания и затухания звука позволяет получить достаточное количество различных тембров.

Теперь в результате проведенного анализа может быть определена полная функциональная схема электронного органа, которая приведена на рис. 3.

На схеме для простоты показан только один задающий генератор и отражены его взаимосвязи с остальными блоками.

Краткая техническая характеристика электронного органа. Полный диапазон по звучанию составляет восемь октав от тона «До» контроктавы до тона «До» шестой октавы.

Диапазон (верхней и нижней) клавиатур равняется пяти октавам.

Верхняя клавиатура состоит из 44 клавиш и перекрывает диапазон до тона «Фа» большой октавы (частота колебаний 87,3 Гц) до тона «До» шестой октавы (частота колебаний 8372 Гц).

Нижняя клавиатура состоит из 48 клавиш и перекрывает диапазон от тона «Фа» контроктавы (частота колебаний 43,6 Гц) до тона «Ми» пятой октавы (частота колебаний 5 274 Гц).

Педальная клавиатура состоит из 13 клавиш и перекрывает диапазон от тона «До» контроктавы (частота колебаний 32,7 Гц) до тона «До» первой октавы (частота колебаний 261,6 Гц).

Стабильность частоты в диапазоне температур ±15 °С не ниже 0,1%.

Время нарастания и затухания звука плавно регулируется в пределах: нарастание звука от 20 мс до 0,5 с; затухание звука от 30 мс до 3 с.

Выходная мощность оконечного усилителя 60 Вт.

Максимальная мощность акустической системы 20 Вт.

Полоса воспроизводимых частот по звуковому давлению при неравномерности 9 дБ простирается от 35 Гц до 13 кГц.

Соотношение сигнал/шум не менее 65 дБ.

Потребляемая мощность от сети переменного тока при средней выходной мощности оконечного усилителя 50 Вт.

Масса электронного органа 65 кг.

Имеются встроенный магнитный реверберaтор, частотное и фазовое вибрато, тремоло.

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОННОГО ОРГАНА

Задающие генераторы и преобразователи формы сигнала. Одним из основных блоков любого ЭМИ является задающий генератор. От стабильности частоты генератора зависит сохранность музыкального строя всего инструмента.

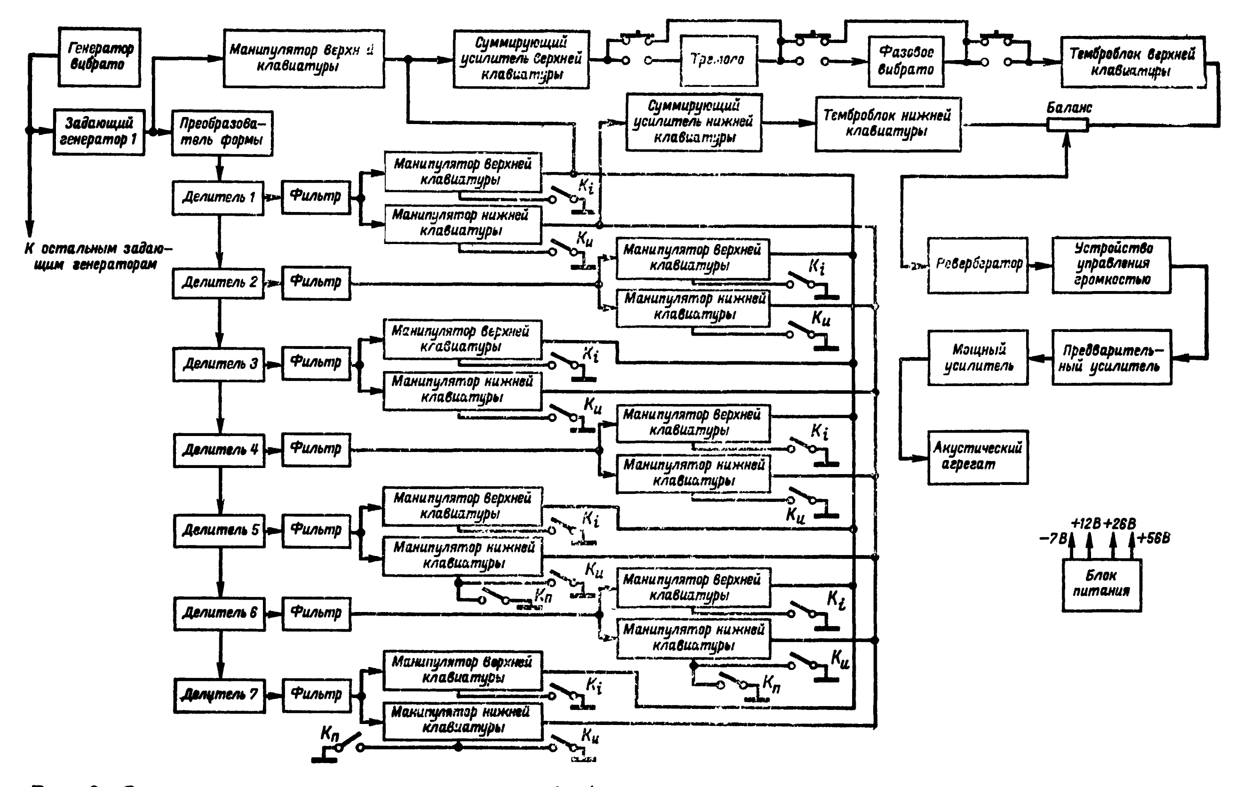


Рис. 3. Структурная схема электронного органа (на схеме показан только один генератор тона).
Ключи K_i — для верхней клавиатуры, K_u — для нижней клавиатуры, $K_п$ — для педальной клавиатуры.

Выход из строя любого из задающих генераторов приведет к остановке всей цепочки ведомых делителей частоты и тем самым к полному отказу ЭМИ. Следовательно, к выбору схемы и конструкции генератора необходимо отнестись с особым вниманием. Существует несколько различных вариантов схем, употребляемых для этой цели, но самыми подходящими являются синусоидальные автогенераторы, которые обладают требуемой стабильностью частоты генерируемых колебаний и отличаются простотой конструкции. Генераторы на полупроводниковых приборах позволяют получить высокую эксплуатационную надежность и не требуют предварительного прогрева после включения в сеть. Автогенераторы синусоидальных колебаний известны двух типов — LC и RC. Частоту LC-автогенератора можно перестраивать, изменяя величину индуктивности или емкости. Катушки индуктивности для низкочастотных колебательных контуров обычно имеют магнитомягкие сердечники. С помощью сердечников легко можно перестраивать частоту генерируемых колебаний, что очень удобно в эксплуатации. LC-генераторы позволяют получить хорошую стабильность частоты и имеют достаточную надежность. Однако намотка катушек, подбор сердечников с хорошей температурной стабильностью, экранировка катушек — все это вызывает некоторые сложности при изготовлении таких генераторов.

Более перспективными с этой точки зрения являются автогенераторы RC-типа, несмотря на большую сложность их принципиальной схемы. Перестройка частоты колебаний производится изменением параметров RC-моста. Обычно изменяется величина сопротивления R, выполненного в виде цепочки постоянного и переменного резисторов. Величина переменного резистора выбирается в несколько раз меньше величины постоянного, чтобы обеспечить плавную перестройку частоты и сохранить устойчивость настройки длительное время. В описываемом электронном органе применены RC-генераторы (рис. 4), которые для улучшения стабильности частоты автоколебаний имеют некоторые отличительные особенности: положительная обратная связь подается непосредственно из эмиттерной цепи транзистора T_2 в эмиттерную цепь транзистора T_1, минуя RC-мост. В результате этого добротность RC-моста не ухудшается; так как положительная обратная связь через элементы RC-моста не закорачивается; дополнительно для повышения стабильности автогенерации в схему задающих генераторов введены два полупроводниковых диода, которые стабилизируют параметры усилителя.

Задающий генератор состоит из автогенератора на транзисторах T_1 и T_2 и согласующего эмиттерного повторителя на транзисторе T_3. Автогенератор работает следующим образом.

Усилитель на транзисторах T_1 и T_2 охвачен положительной обратной связью через резистор R_8, соединяющий эмиттерные цепи транзисторов. Эта обратная связь обеспечивает выполнение условия самовозбуждения; селективная отрицательная обратная связь подается из эмиттерной цепи T_2 через RC-мост в базовую цепь транзистора T_1. Следовательно, условие самовозбуждения выполняется только на частоте настройки моста. Кроме этого имеется дополнительная цепь отрицательной обратной связи через резистор R_{11} из коллекторной цепи транзистора T_2 в эмиттерную цепь T_1, которая обеспечивает постоянство коэффициента усиления усилителя и позволяет получить устойчивую генерацию при изменении пара-

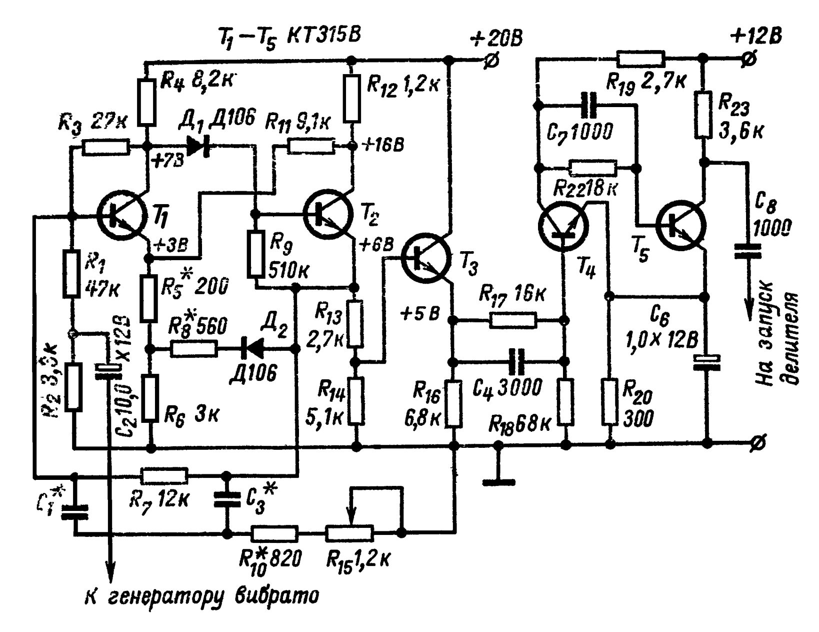


Рис. 4. Принципиальная схема задающего генератора.

метров RC-моста в случае перестройки частоты автогенератора. Параметры RC-моста приведены в табл. 1.

Таблица 1

Тон	Частота настройки, Гц	Величина емкости C_1 и C_3, пФ	Тон	Частота настройки, Гц	Величина емкости C_1 и C_3, пФ
До	8382	3000	Фа-диез	5920	4300
Си	7902	3100	Фа	5588	4500
Ля-диез	7459	3300	Ми	5274	4700
Ля	7040	3600	Ре-диез	4978	5100
Соль-диез	6645	3900	Ре	4699	5600
Соль	6271	4100	До-диез	4435	6200

Для компенсации изменения параметров усилителя от изменения температуры окружающей среды в схему введены два полупроводниковых диода $Д_1$ и $Д_2$.

Экспериментальная проверка показала стабильность частоты колебаний в диапазоне температур ±15 °С не ниже ±0,1%. Уход частоты генерации генераторов после восьми месяцев эксплуатации за счет старения элементов схемы оказался не более ±0,05%.

В качестве элементов *RC*-моста должны быть использованы конденсаторы типа КСО и резисторы типа БЛП или другие, эквивалентные им по температурной стабильности.

Преобразователь формы, выполненный на транзисторах T_4 и T_5 по схеме триггера Шмитта. преобразует синусоидальный сигнал генератора в импульсный, необходимый для запуска делителей частоты.

Эмиттерный повторитель на транзисторе T_3 исключает влияние преобразователя формы на стабильность частоты колебаний генератора.

Чтобы осуществить частотное вибрато, на задающие генераторы подано синусоидальное напряжение очень низкой частоты (7—8 Гц) с амплитудой около 5 В.

Принципиальная схема генератора частотного вибрато приведена на рис. 5. Она аналогична схеме задающего генератора, но

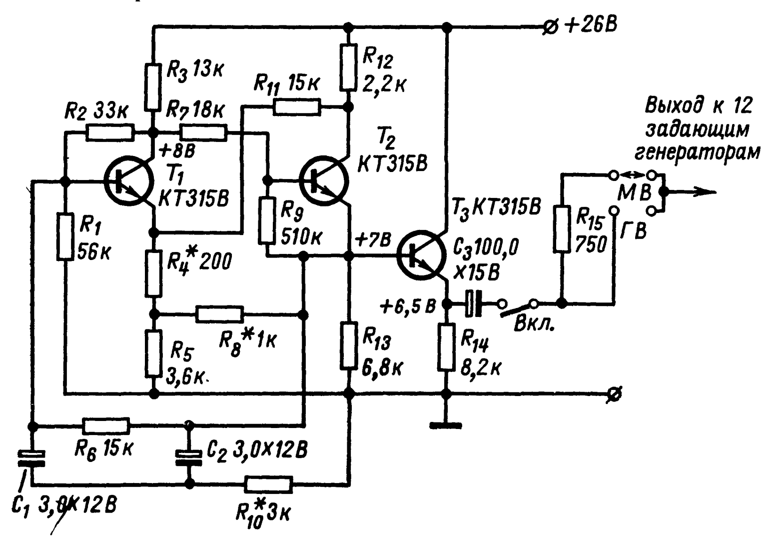


Рис. 5. Принципиальная схема генератора частотного вибрато. Все резисторы мощностью 0,25 Вт.

несколько упрощена. Принцип работы ее дополнительно не описывается. Частота колебаний устанавливается при настройке генератора подбором резистора R_{10}.

Глубина вибрато имеет два значения: глубокое вибрато (ГВ) и малое вибрато (МВ). Для этого имеется две кнопки на лицевой панели электронного органа, одна из которых имеет два положения (для отключения вибрато).

Делители частоты и манипуляторы. Строй любого музыкального инструмента состоит из ряда звуков, которые находятся в определенной частотной зависимости. Основным интервалом в музыкальном строе является октава, которая соответствует отношению частот двух одноименных тонов, как 2 : 1. Это обстоятельство по-

зволяет в ЭМИ использовать обычные делители частоты на два для заполнения всего звуковысотного диапазона инструмента.

Могут быть использованы как пассивные, так и активные делители частоты.

Активные делители частоты необходимо предварительно настроить на частоту несколько ниже требуемой.

Более удобны в этом отношении пассивные делители, которые работают в широком диапазоне частот и не требуют предварительной настройки. Поэтому для описываемого электронного органа выбран пассивный делитель частоты триггерного типа, принципиальная схема которого приведена на рис. 6. Чтобы звучание инст-

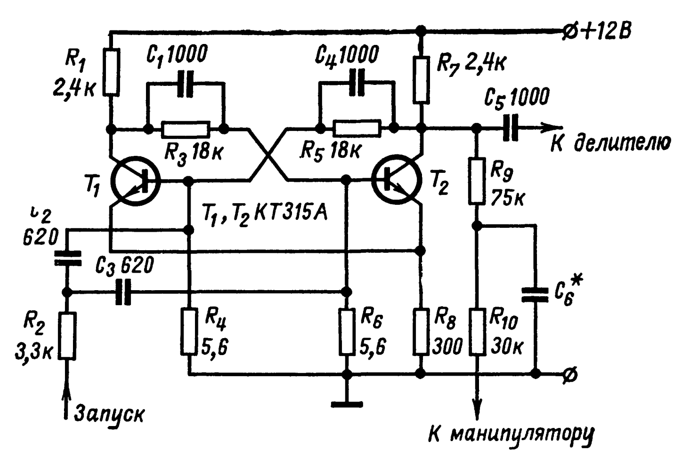


Рис. 6. Принципиальная схема делителя частоты. Величина, отмеченная звездочками, выбирается в зависимости от частоты.

румента было более музыкальным, прямоугольное напряжение с выхода делителя частоты пропускается через RC-фильтр, который задерживает высшие гармоники сигнала. Каждый фильтр настроен на определенную частоту среза. Величины конденсаторов в фильтрах приведены в табл. 2. Отфильтрованный сигнал с делителя частоты поступает на вход манипулятора для управления временем нарастания и затухания звука.

Принципиальная схема манипулятора приведена на рис. 7.

Принцип его работы следующий. При отпущенной клавише на базу транзистора поступает напряжение — 7 В и транзистор запирается. При нажатии клавиши через контакт K на базу подается положительное напряжение с некоторой постоянной времени $\tau = R_3C_2$, транзистор T_1 открывается и сигнал поступает на сборную шину.

Суммирующие усилители и формантные фильтры. Выходы всех манипуляторов верхней и нижней клавиатур через развязывающие резисторы 18 кОм подключены к своим сборным шинам.

Амплитуды сигналов на сборных шинах в результате суммиро-

Таблица 2

Порядковый номер делителя частоты, начиная с высшей частоты деления	Величина емкости	Частота на выходе делителя, Гц	Порядковый номер делителя частоты, начиная с высшей частоты деления	Величина емкости	Частота на выходе делителя, Гц
1	1000 пФ	4190	43	0,015 мкФ	349
2	1000 пФ	3950	44	0,015 мкФ	329
3	1100 пФ	3730	45	0,015 мкФ	311
4	1200 пФ	3520	46	0,017 мкФ	293
5	1300 пФ	3320	47	0,02 мкФ	277
6	1300 пФ	3135	48	0,02 мкФ	261
7	1500 пФ	2960	49	0,02 мкФ	244
8	1600 пФ	2795	50	0,022 мкФ	233
9	1700 пФ	2635	51	0,022 мкФ	220
10	1800 пФ	2490	52	0,022 мкФ	208
11	2000 пФ	2350	53	0,025 мкФ	197
12	2200 пФ	2215	54	0,025 мкФ	189
13	2200 пФ	2095	55	0,025 мкФ	175
14	2400 пФ	1975	56	0,03 мкФ	165
15	2400 пФ	1965	57	0,03 мкФ	156
16	2600 пФ	1760	58	0,033 мкФ	147
17	2700 пФ	1660	59	0,043 мкФ	136
18	3000 пФ	1568	60	0,047 мкФ	130
19	3300 пФ	1480	61	0,047 мкФ	123
20	3600 пФ	1397	62	0,05 мкФ	116
21	3900 пФ	1245	63	0,05 мкФ	110
22	3900 пФ	1175	64	0,05 мкФ	104
23	4300 пФ	1108	65	0,05 мкФ	98
24	4700 пФ	1047	66	0,065 мкФ	94
25	4700 пФ	998	67	0,075 мкФ	87
26	5100 пФ	932	68	0,075 мкФ	82
27	5100 пФ	880	69	0,075 мкФ	78
28	5600 пФ	830	70	0,1 мкФ	73
29	6200 пФ	784	71	0,1 мкФ	69
30	6200 пФ	740	72	0,1 мкФ	65
31	6800 пФ	698	73	0,1 мкФ	62
32	6800 пФ	659	74	0,1 мкФ	58
33	7500 пФ	622	75	0,12 мкФ	55
34	8200 пФ	587	76	0,12 мкФ	52
35	9100 пФ	554	77	0,12 мкФ	49
36	9100 пФ	523	78	0,15 мкФ	46
37	9100 пФ	494	79	0,15 мкФ	43
38	0,01 мкФ	466	80	0,15 мкФ	41
39	0,01 мкФ	440	81	0,2 мкФ	39
40	0,01 мкФ	415	82	0,2 мкФ	37
41	0,012 мкФ	392	83	0,2 мкФ	35
42	0,012 мкФ	370	84	0,25 мкФ	34

вания значительно уменьшаются. Поэтому прежде, чем подавать на формантные фильтры, сигнал целесообразно предварительно усилить. Для этой цели в электронном органе предусмотрены два одинаковых суммирующих усилителя для верхней и нижней клавиатур соответственно.

Принципиальная схема суммирующего усилителя приведена на рис. 8. Усилитель состоит из двух каскадов усиления с непосредственной связью между каскадами. Оба каскада охвачены глубокой отрицательной обратной связью (R_7, R_8 и R_{13}). Коэффициент усиления суммирующего усилителя около 15.

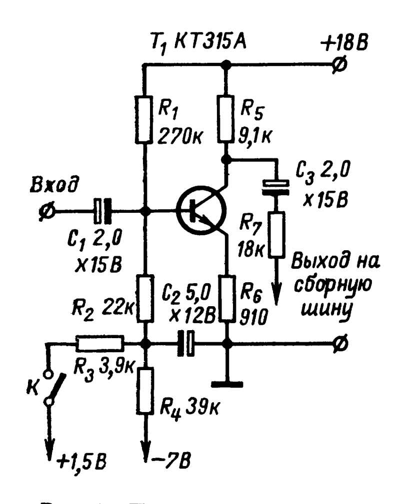


Рис. 7. Принципиальная схема манипулятора. Все резисторы мощностью 0,25 Вт.

С выходов суммирующих усилителей сигнал поступает на формантные фильтры, схемы которых приведены на рис. 9. Фильтры *1—3* использованы в темброблоке верхней клавиатуры.

Для нижней клавиатуры используется фильтр *4* интегрирующего типа.

Добротности контуров во всех фильтрах 10—12. При параллельной работе всех формантных фильтров их добротности существенно не изменяются, так как на выходе каждого фильтра включен развязывающий резистор с достаточно большим сопротивлением.

Фильтры имеют независимое включение с помощью кнопочных переключателей типа П2К. При выключении любого из фильтров вместо него подключается

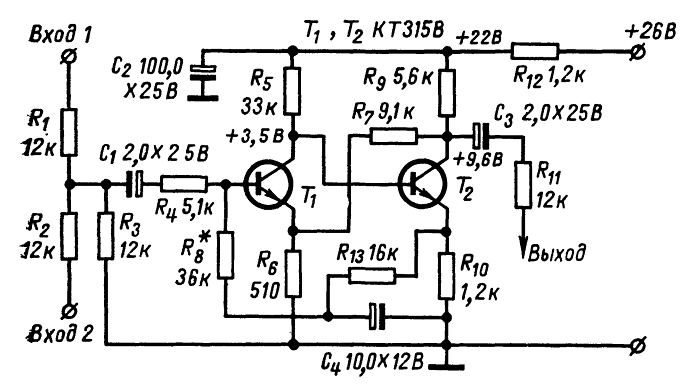


Рис. 8. Принципиальная схема суммирующего усилителя. Все резисторы мощностью 0,25 Вт.

соответствующее выравнивающее сопротивление для поддержания уровня громкости на выходе постоянным. Все данные формантных фильтров приводятся на принципиальной схеме. Дроссели намотаны на сердечниках из трансформаторной стали УШ 10×10.

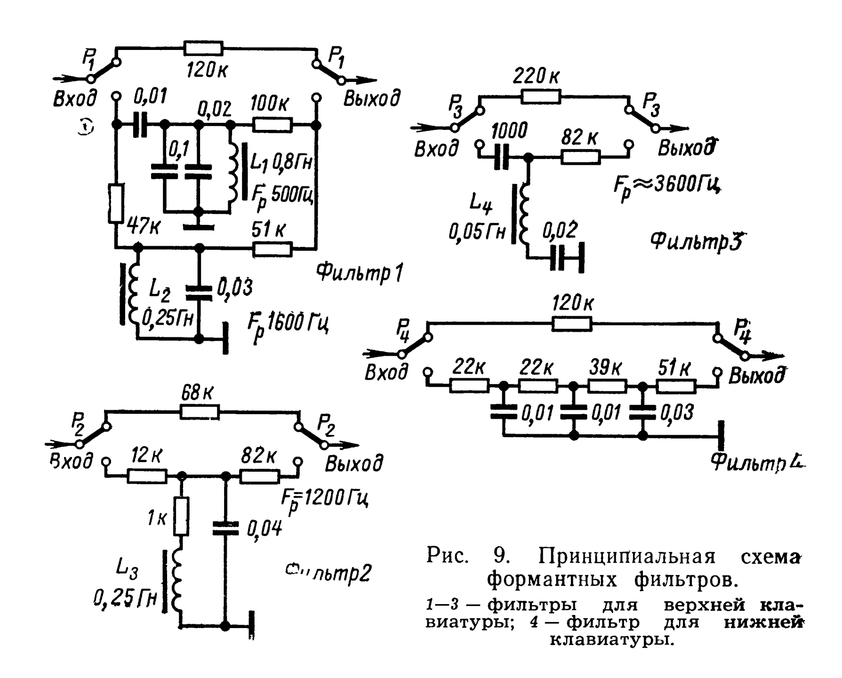


Рис. 9. Принципиальная схема формантных фильтров.
1—3 — фильтры для верхней клавиатуры; 4 — фильтр для нижней клавиатуры.

Фазовое вибрато и тремоло. Дополнительно к частотному вибрато в электронном органе имеется устройство фазового вибрато, схема которого приведена на рис. 10.

Основой фазового вибрато является широкополосный фазовращатель, состоящий из каскада с разделенной нагрузкой на транзисторе T_1 и фазосдвигающей цепочки C_3, T_3. Здесь полевой транзистор используется в качестве управляемого сопротивления, изменяющегося с частотой 7—8 Гц под действием напряжения, подаваемого на затвор. В результате с выхода фазовращателя снимается сигнал с фазовой модуляцией. Усилительный каскад на транзисторе T_7 служит для компенсации затухания, вносимого темброблоком и фазовращателем. Для согласования высокого выходного сопротивления фазовращателя и низкого входного сопротивления усилительного каскада включен комбинированный эмиттерный повторитель (транзистор T_5 и T_6) с входным сопротивлением около 5 МОм.

Низкочастотный генератор для управления фазовращателем представляет собой автогенератор на транзисторах T_2 и T_4. По схеме он аналогичен генератору частотного вибрато. Частота колебаний устанавливается равной 7—8 Гц подбором резистора R_{16}

при наладке устройства. Регулятор R_{26} позволяет плавно изменять глубину вибрации звука.

Для получения эффекта тремоло предусмотрено устройство, принципиальная схема которого изображена на рис. 11. В состав

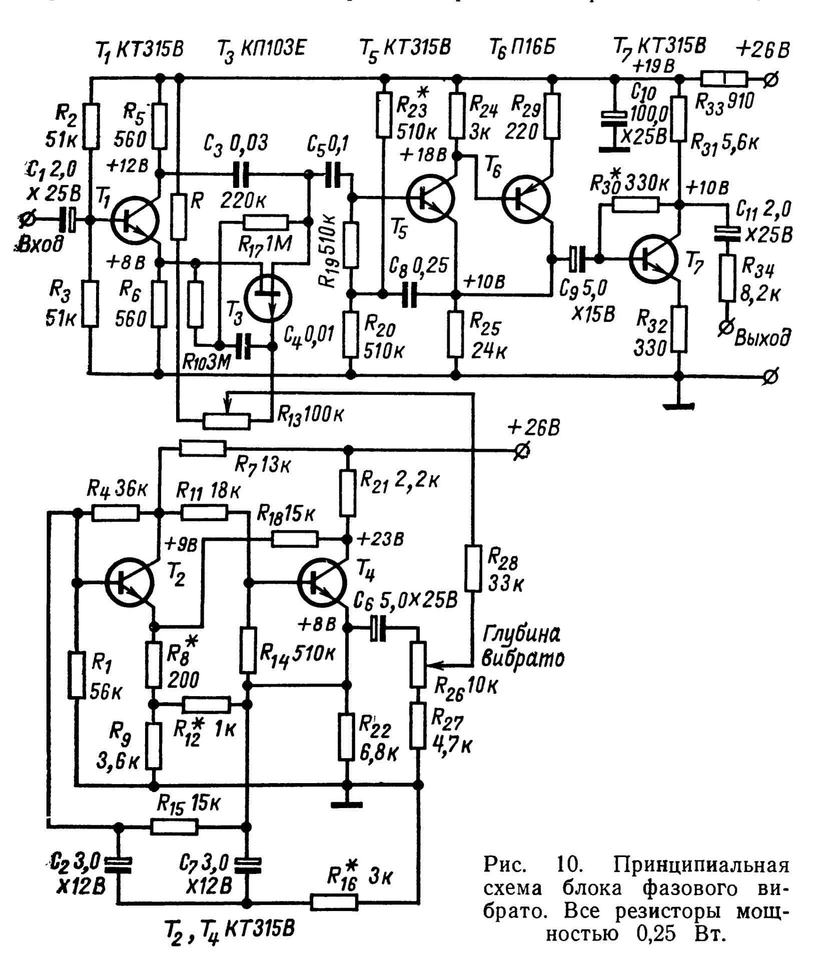


Рис. 10. Принципиальная схема блока фазового вибрато. Все резисторы мощностью 0,25 Вт.

этого устройства входят входной эмиттерный повторитель, ключевая схема, однокаскадный усилитель для компенсации ослабления, выходной эмиттерный повторитель и мультивибратор для управления ключевой схемой. Сигнал с выхода первого эмиттерного повторителя (транзистор T_2) поступает на ключевую схему (R_8, T_3), в которой он преобразуется в амплитудно-модулированный со скважностью 3—4. Модулирующее напряжение вырабатывается мульти-

вибратором (транзисторы T_1 и T_4) и через интегрирующий фильтр поступает на ключевую схему для управления.

Потенциометром R_{16} устанавливается необходимая величина модулирующего напряжения, а потенциометром R_3 можно менять частоту мультивибратора в процессе эксплуатации. Ручка этого регулятора выведена на лицевую панель инструмента.

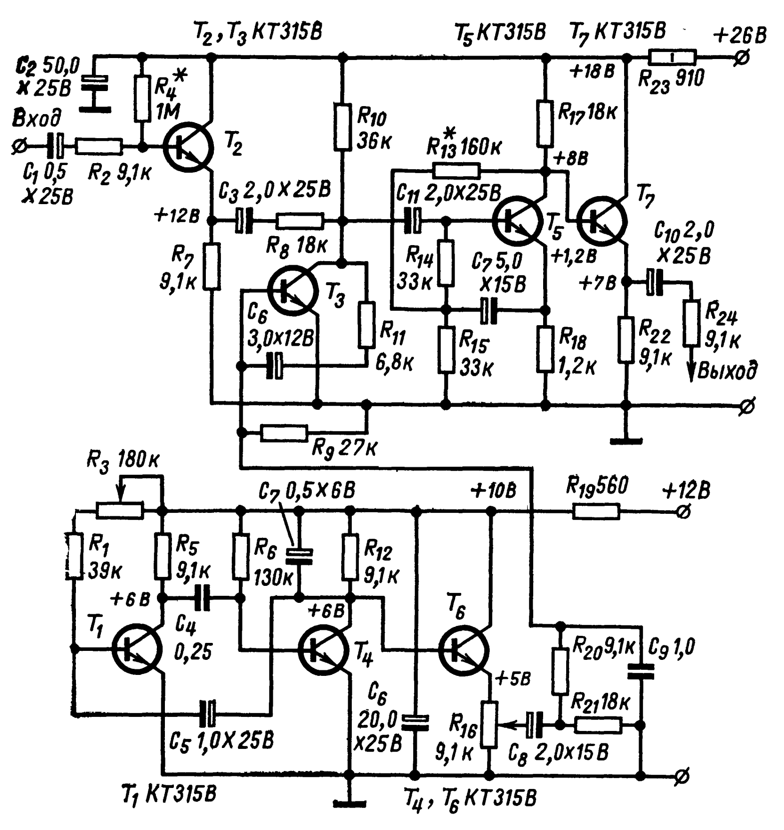


Рис. 11. Принципиальная схема блока тремоло.

Блоки фазового вибрато и тремоло подключаются с помощью кнопочных переключателей типа П2К одновременно либо раздельно.

Устройство бесконтактного управления уровнем громкости и схема изменения времени нарастания и затухания звука. Изменение уровня громкости звучания ЭМИ в процессе эксплуатации происходит непрерывно, исходя из характера музыкального произведения. Обычные способы управления уровнем громкости с помощью переменных сопротивлений находят применение только при ручном способе регулирования.

Для педального способа управления громкостью обычные переменные сопротивления не подходят в силу их малой износоустойчивости.

Известно несколько способов педального управления громкости, описанных подробно в литературе по конструированию ЭМИ [Л. 2].

В последнее время для этой цели наиболее часто применяют фоторезисторы и полевые транзисторы в качестве управляемых сопротивлений. Такие регуляторы обеспечивают достаточный диапазон регулирования (более 40 дБ), имеют высокую износоустойчивость и не вносят нелинейных искажений. Однако наряду со значительными преимуществами эти устройства обладают некоторыми недостатками. Например, регулятор на основе фоторезистора должен быть помещен в светонепроницаемую оболочку (так как педаль обычно вынесена за пределы ЭМИ). Можно использовать косвенный способ регулирования, при котором с помощью вынесенного потенциометра изменяется яркость свечения лампы накаливания, расположенной внутри корпуса рядом с фоторезистором. Этот способ не требует вынесения фоторезистора за пределы ЭМИ, но значительно снижает износоустойчивость регулятора.

Устройство же педального регулятора громкости на основе полевого транзистора в качестве управляемого сопротивления требует дополнительного схемного усложнения для изменения напряжения на затворе. Однако этот способ дает возможность построить помехоустойчивый регулятор педального типа по бесконтактному принципу с малыми нелинейными искажениями (не более 1—1,5%).

Поэтому в описываемом электрооргане для управления громкостью звучания применена бесконтактная педаль с использованием полевого транзистора в качестве управляемого сопротивления. Изменение напряжения на затворе полевого транзистора в зависимости от положения педали громкости осуществляется управляющей схемой в виде фотодатчика. Такой бесконтактный регулятор сочетает положительные свойства перспективных педальных способов регулирования, имеет хорошую помехоустойчивость, широкий диапазон регулирования и высокую износоустойчивость.

Принципиальная схема регулятора приведена на рис. 12. Первый каскад на транзисторе T_1 является эмиттерным повторителем. Резистор R_9 вместе с полевым транзистором T_3 образует управляемый делитель. Далее следует трехкаскадный усилитель (T_4—T_6) с высоким входным сопротивлением (более 5 МОм), который компенсирует затухание, вносимое делителем. Управление полевым транзистором T_3 происходит от схемы, содержащей фотодиод типа ФД2 и усилительный каскад на транзисторе T_2. Схема работает следующим образом. В крайнем положении педали, соответствующем минимальной громкости, фотодиод полностью затемнен и транзистор T_2 открыт током, протекающим через резистор R_3. Перемещение педали в другое крайнее положение происходит совместно с механической заслонкой, которая расположена между фотодиодом и лампой накаливания типа КМ-6.

Фотодиод начинает освещаться и вырабатывать отрицательное напряжение, которое закрывает транзистор T_2; при этом потенциал его коллектора повышается. Так как коллектор транзистора T_2 через цепочку R_7, R_8, R_{12} соединен с затвором полевого транзистора T_3, то при этом полевой транзистор закрывается и его внутреннее сопротивление резко возрастает, уменьшая тем самым коэффициент деления управляемого делителя. Внутреннее сопротивление полевого транзистора типа КП103Е изменяется от 700—

1 000 Ом при открытом транзисторе до десятков мегом при полностью закрытом, что позволяет получить диапазон регулирования более 40 дБ (на практике получилось значительно больше).

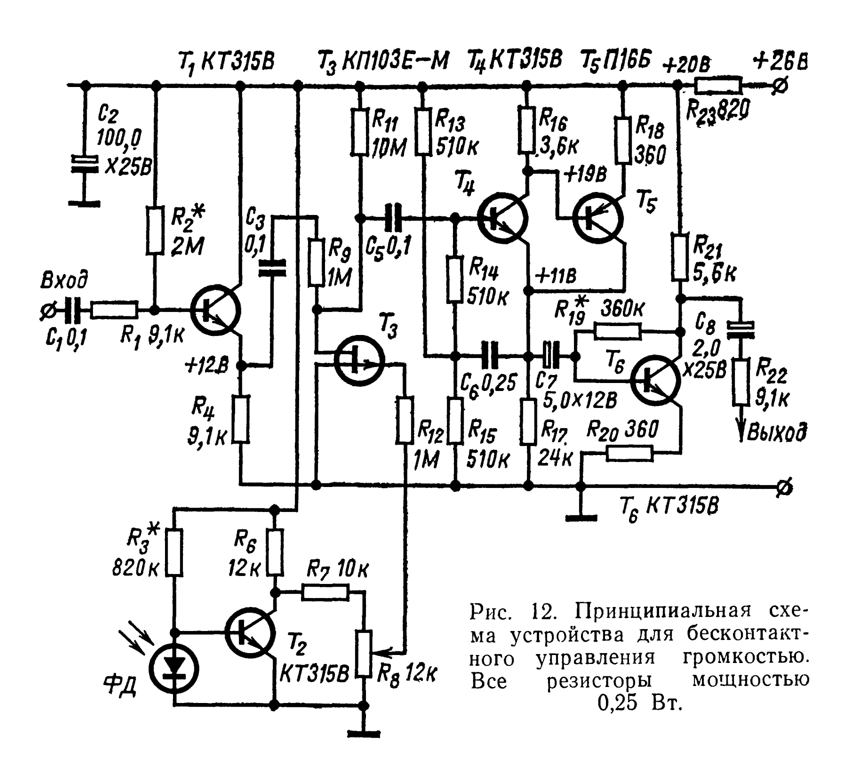


Рис. 12. Принципиальная схема устройства для бесконтактного управления громкостью. Все резисторы мощностью 0,25 Вт.

В описываемом электронном органе предусмотрена возможность плавно управлять временем нарастания и затухания звука. Принципиальная схема этого устройства приведена на рис. 13.

Время нарастания звука обусловлено временем перезаряда конденсатора C_2* в каждом манипуляторе через резистор R_3, а время затухания — временем перезаряда того же конденсатора через резистор R_4. Этими временами можно управлять изменением напряжения, приложенного к резисторам R_3 и R_4.

Начальная скорость перезаряда будет тем больше, чем больше разница величин напряжения на конденсаторе в начале и конце процесса перезаряда.

Переменные резисторы $R_{\text{нар}}$ и $R_{\text{зат}}$ позволяют изменять начальную скорость перезаряда и тем самым плавно изменять соответственно время нарастания и затухания звука. Это достигается тем, что режим транзисторов манипуляторов выбран так, что они открываются либо закрываются несколько раньше окончания полного перезаряда конденсатора C_2*.

В результате с помощью такой несложной схемы появилась возможность плавно изменять время нарастания звука в пределах от 20 мс до 500 мс и время затухания — от 30 мс до 3 с.

Ручки обоих регуляторов выведены на лицевую панель электрооргана.

Темброобразование и схема соединений контактной системы клавиатуры. В электрооргане для образования различных тембров звучания используется сочетание принципа гармонического синтеза и темброобразования с помощью формантных фильтров, причем гармонический синтез является основным способом образования различных и наиболее ярких тембров в описываемом инструменте.

В верхней клавиатуре заложена возможность синтезировать сигнал, состоящий из пяти гармонических составляющих. В нижней и педальной клавиатурах звук может состоять из четырех и трех гармонических составляющих соответственно.

Принципиальная схема темброобразования на основе гармонического синтеза для одного звука приведена на рис. 13, а схема соединения контактной системы для реализации принципа гармонического синтеза изображена на рис. 14.

Диоды в схеме соединений исключают возможность появления лишней гармонической составляющей на сборной шине в случае нажатия эквивалентной клавиши в различных октавах.

Выбор нужной гармонической составляющей выполняется по постоянному току на входе манипуляторов, а их выходы подключены к одному общему проводу (сборная шина) своей клавиатуры. Педальная клавиатура не имеет своей сборной шины, а присоединена к сборной шине нижней клавиатуры. Однако выбор тембра звучания для педальной клавиатуры производится независимо.

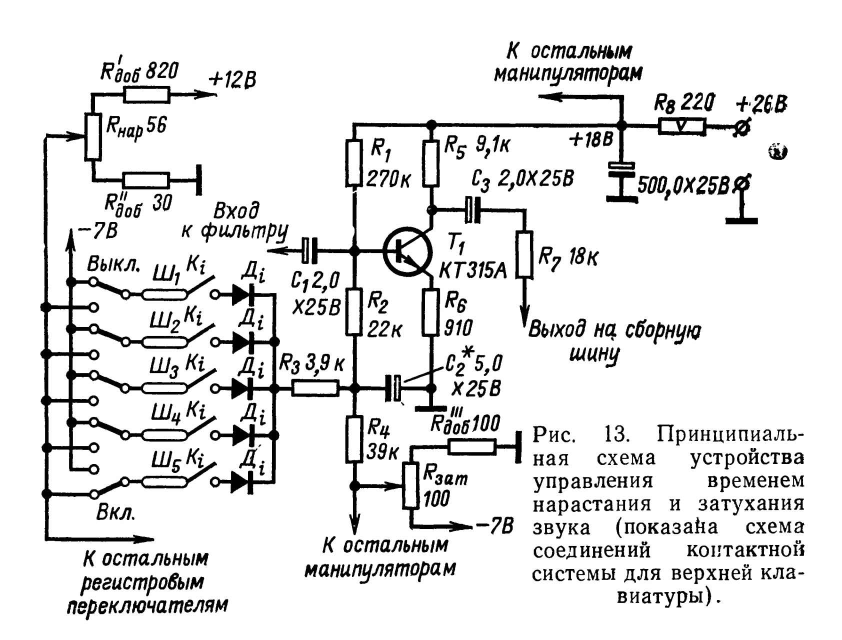


Рис. 13. Принципиальная схема устройства управления временем нарастания и затухания звука (показана схема соединений контактной системы для верхней клавиатуры).

Способ управления тембрами по постоянному току выбран авторами с целью уменьшения пролезания музыкального фона и снижения наводок от посторонних источников на вход оконечного усилителя низкой частоты.

Кроме этого, совмещение нижней и педальной клавиатур в одной сборной шине позволило сократить общее число манипуляторов на 39 шт.

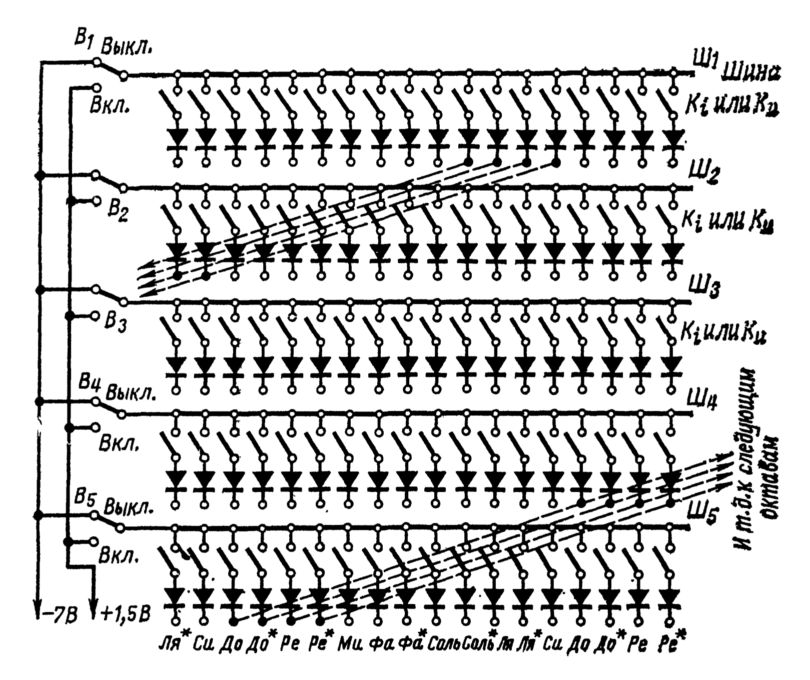


Рис. 14. Схема соединений контактной системы для получения тембров с помощью гармонического синтеза. (Переключатели B_1 — B_5 для выбора тембра звучания. На схеме приведена только часть клавишей и пунктирными линиями показан порядок соединений. Все диоды типа Д9).

Уровень фона на выходе оконечного усилителя составляет более 40 дБ без применения экранированных проводов. Уровень фона на выходе ЭМИ в 40 дБ считается недостаточным, но от манипуляторов, собранных по схеме с общим эмиттером, получить более высокий уровень — сложная задача. Проникание со входа на выход у обычного кремниевого планарного транзистора в закрытом состоянии и включенном по схеме с общим эмиттером составляет около 80 дБ.

В описываемом ЭО на одну сборную шину работают одновременно около 90 манипуляторов.

Можно определить расчетный уровень фона на выходе пассивного сумматора по методике [Л. 2] для определения абсолютного значения музыкального фона

$$L_{\Sigma}=20\ \lg\frac{U_{\Phi}}{U_0}+20\ \lg n,$$

где L_{Σ} — суммарный фон пассивного сумматора; U_{Φ} — напряжение фона, развиваемое одним манипулятором на сборной шине 1,2 мкВ; U_0 — минимальное напряжение полезного сигнала на выходе сумматора 30 мВ; n — общее количество манипуляторов, подключенных к сборной шине одновременно (например, 90).

Подставляя числовые значения в формулу, получим:

$$L_{\Sigma}=20\ \lg\frac{1,2\cdot10^{-6}}{30\cdot10^{3}}+20\ \lg 90\approx-49\ \text{дБ}.$$

Магнитный реверберататор. Качество звучания ЭМИ значительно повышается при использовании устройства реверберации.

Реверберация уменьшает специфическую электронную окраску («сухость») звучания, делает его более приятным, музыкальным, не так быстро утомляющим слушателя

Известны два наиболее распространенных типа ревербераторов: пружинные и основанные на магнитной записи звука.

Пружинные ревербераторы имеют некоторые преимущества перед магнитными. Они более надежны в работе, имеют меньший уровень собственных шумов и значительно проще по конструкции.

Однако построить хороший пружинный ревербератор, в частности изготовить датчик и приемник колебаний, а также линию задержки — спираль с требуемыми характеристиками в любительских условиях — очень сложная задача, тем более что в отечественной литературе недостаточно освещены вопросы конструирования таких ревербераторов.

Поэтому для описываемого электронного органа был выбран ревербератор на основе магнитной записи, учитывая, что такой ревербератор легче построить в любительских условиях.

Техническая характеристика ревербератора

Полоса частот сквозного канала реверберации от 70 до 4 000 Гц при неравномерности частотной характеристики ±6 дБ.

Частота генератора стирания и подмагничивания 85 кГц.

Скорость движения магнитной ленты 310 мм/с.

Звуконоситель — кольцо из магнитной ленты типа 6.

Время непрерывной работы одного кольца не менее 10 ч.

Неравномерность движения магнитной ленты не более 0,3%.

Структурная схема ревербератора приведена на рис. 15; она содержит усилитель записи *УЗ*, усилители воспроизведения $УВ_1$—$УВ_4$, выходной усилитель и генератор стирания и подмагничивания *Г*.

Сигнал для реверберации поступает на вход усилителя записи и после необходимого усиления и коррекции записывается на ленту. С головок воспроизведения $ГВ_1$—$ГВ_4$ поступают сигналы, запаздывающие по времени относительно записываемого; они усиливаются усилителями воспроизведения $УВ_1$—$УВ_4$ и далее через резисторы R_1—R_4 подаются на выходной усилитель. Эти резисторы создают необходимое затухание сигнала пропорционально времени запаздывания.

Сквозной канал запись — воспроизведение охвачен обратной связью, которая увеличивает время реверберации, улучшает слитность реверберируемого сигнала и в целом значительно улучшает характеристику затухания звука. С помощью переключателя в цепи обратной связи можно увеличивать или уменьшать время реверберации.

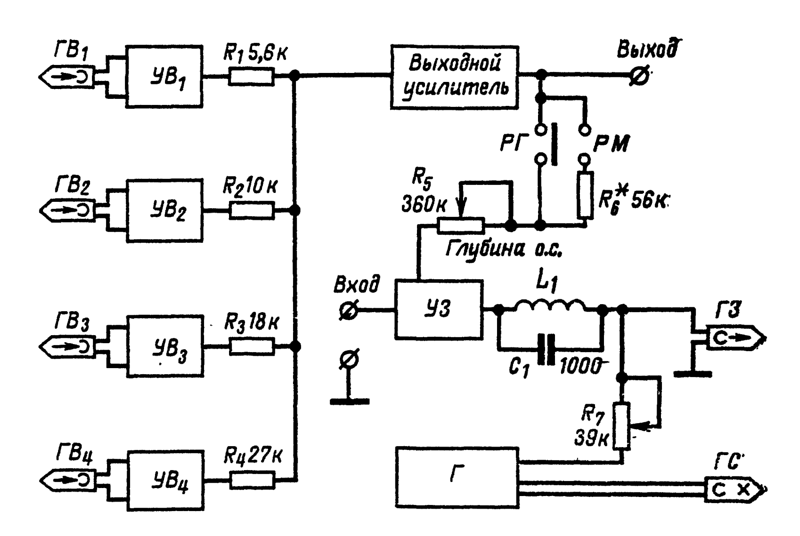


Рис. 15. Структурная схема магнитного реверберератора.

Время реверберации устанавливается с помощью переменного резистора R_5.

Принципиальная схема усилителя записи приведена на рис. 16. Он состоит из эмиттерного повторителя на транзисторе T_1, двухкаскадного усилителя на транзисторах T_2 и T_3 и выходного эмиттерного повторителя на транзисторе T_4. Выход эмиттерного повторителя для ограничения полосы пропускания зашунтирован конденсатором C_6.

Цепь частотнозависимой отрицательной обратной связи R_6, R_5, C_4 создает подъем частотной характеристики в области высоких звуковых частот.

На вход усилителя записи через резистор 220 кОм с выхода канала воспроизведения подается сигнал обратной связи для увеличения времени реверберации и улучшения слитности реверберируемого сигнала.

Принципиальная схема усилителя воспроизведения приведена на рис. 17. Усилитель охвачен частотнозависимой отрицательной обратной связью для коррекции частотной характеристики канала воспроизведения. Обратная связь подается из коллекторной цепи транзистора T_2 через цепочку R_3 и C_3 в эмиттерную цепь транзистора T_1 и создает подъем на частотах 60—80 Гц около 12 дБ (относительно частоты 1 000 Гц).

Для улучшения соотношения сигнал/шум транзистор T_1 работает в режиме микротоков. Все четыре усилителя воспроизведения идентичны по схеме, укреплены на одной панели и помещены в общий экран.

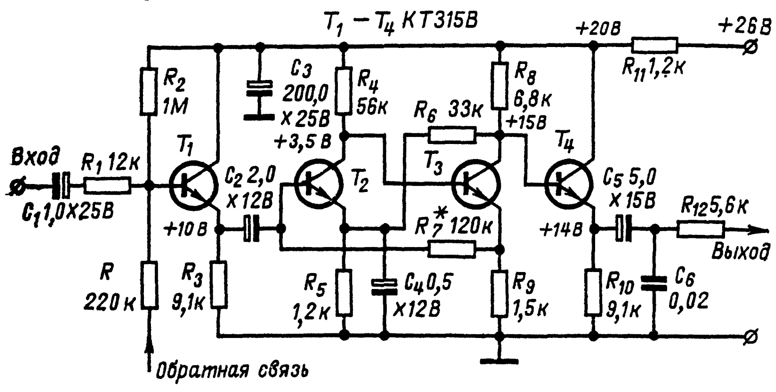


Рис. 16. Принципиальная схема усилителя записи реверберaтора. Все резисторы типа МЛТ мощностью 0,25 Вт.

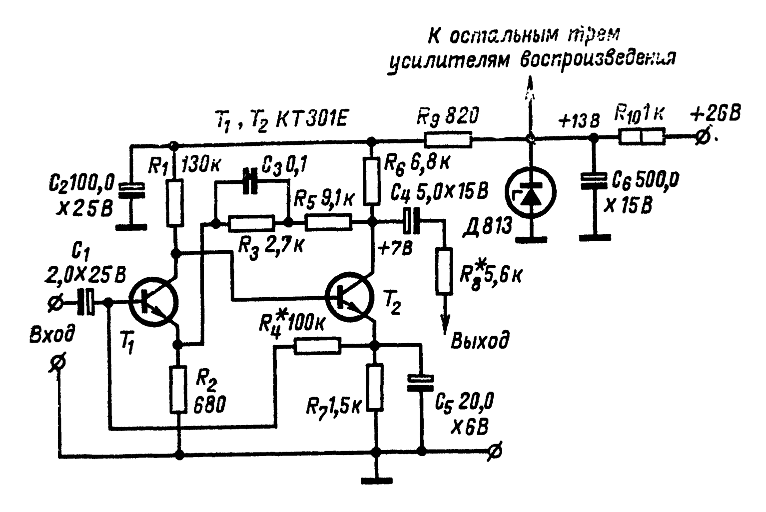


Рис. 17. Принципиальная схема усилителя воспроизведения.

Принципиальная схема выходного усилителя приведена на рис. 18. Между первым и вторым каскадами (транзисторы T_1 и T_2) включена цепь частотной коррекции в области низких звуковых частот. На выходе усилителя для улучшения его нагрузочной ха-

рактеристики предусмотрен эмиттерный повторитель на транзисторе T_3.

Генератор стирания и подмагничивания собран по двухтактной схеме на транзисторах типа П-609. Эти транзисторы укреплены на угловых радиаторах для облегчения их температурного режима. Принципиальная схема генератора изображена на рис. 19. Частота

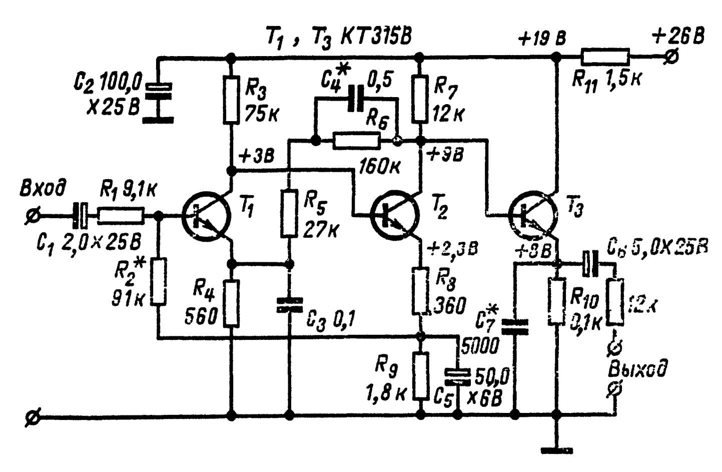


Рис. 18. Принципиальная схема выходиого усилителя ревербератора. Резисторы типа МЛТ мощностью 0,25 Вт.

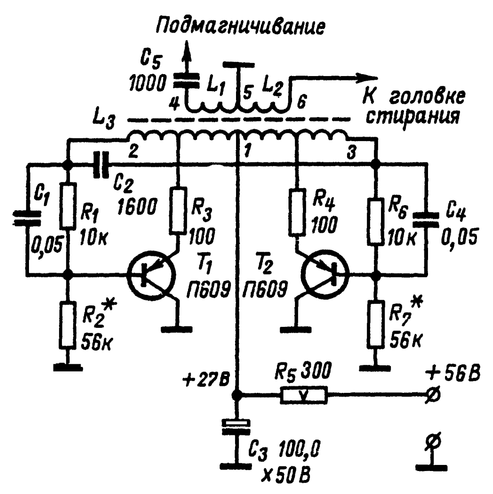


Рис. 19. Прииципиальиая схема генератора стирания.

колебаний составляет около 80 кГц. Катушка генератора выполнена на сердечнике типа СБ-5. Первичная обмотка имеет 2×120 витков провода ПЭВ-2 ⌀0,2 мм с отводами от 65 витка (считая от середины). Обмотка для подключения головки стирания имеет 150 витков провода ПЭВ-2 ⌀0,31 мм, а обмотка подмагничивания — 450 витков провода ПЭВ-2 ⌀0,1 мм. Катушка фильтра-пробки L_1, C_1 (см. рис. 15) содержит 460 витков провода ПЭВ-2 ⌀0,12 мм; сердечник катушки типа СБ-3.

В описываемом ревербераторе использованы четыре универсальные магнитные головки от транзисторного магнитофона «Романтик». Тип воспроизводящих головок может быть любым, однако головки от ламповых магнитофонов, хотя и дают выигрыш по э.д.с., но для нормальной работы требуют высокоомной нагрузки. Обычные транзисторные усилители имеют низкое входное сопротивление и для их согласования с высокоомными головками требуется согласующее устройство. В качестве головки записи используется также универсальная головка от магнитофона «Романтик». Стирающая головка применена от того же магнитофона.

Оконечный усилитель низкой частоты и акустическая система. Качество звучания электронного органа во многом зависит от характеристик оконечного усилителя низкой частоты и акустической системы.

Экспериментально установлено, что выходная мощность оконечного усилителя, который работает совместно с ЭМИ, должна быть не менее 30 Вт при нелинейных искажениях не более 0,5% во всем диапазоне звуковых частот. Снижение требований к усилителю низкой частоты и акустической системе приведет к резкому ухудшению звучания всего инструмента и особенно аккордов.

Усилитель с малой выходной мощностью не обладает достаточным динамическим диапазоном и не позволит реализовать красивое многоголосное звучание.

В описываемом органе оконечный усилитель имеет выходную мощность 60 Вт на нагрузке 4 Ома; уровень его собственных шумов не более 65 дБ, а нелинейные искажения во всем диапазоне частот при 75% выходной мощности не превышает 0,25%.

Оконечный усилитель состоит из двух частей: предварительного усилителя и усилителя мощности. Такое разделение вызвано тем, что предварительный усилитель должен быть расположен вдали от источников помех, но ближе к органам управления; усилитель мощности менее подвержен влиянию наводок и может быть установлен в любом свободном месте.

В предварительном усилителе, принципиальная схема которого изображена на рис. 20, имеется возможность изменять частотную характеристику в области низких и высоких звуковых частот, а также сделан дополнительный вход для подключения звукоснимателя с целью воспроизведения тем же усилителем грамзаписи. Подключение электрофона позволяет исполнять музыку на органе под «аккомпанемент» записи с пластинки. На выходе предусмотрены гнезда для подключения магнитофона и контрольных телефонов для бесшумной репетиции.

Первый каскад — эмиттерный повторитель на транзисторе T_1 — обеспечивает высокое входное сопротивление, необходимое для подключения звукоснимателя.

Цепочка R_6, R_7, C_5, C_6 служит для подъема низких звуковых частот при воспроизведении грамзаписи. Резисторы R_8, R_9 являются

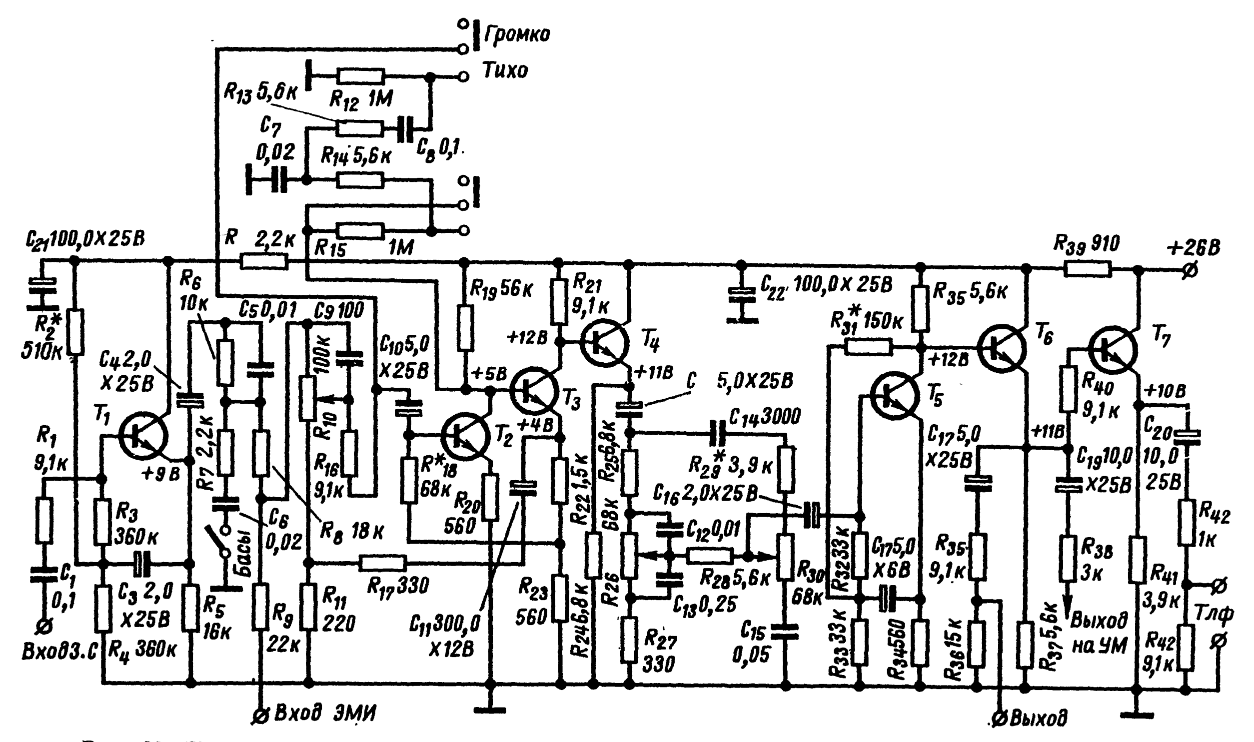


Рис. 20. Принципиальная схема предварительного усилителя. Все транзисторы типа КТ 315В.

элементами сумматора сигналов от звукоснимателя и электронного органа.

Между первым и вторым каскадами включен переменный резистор R_{10} для плавной предварительной установки уровня громкости. Схема его включения обеспечивает расширенный диапазон регулирования и отличается тем, что на нижний вывод регулятора подается отрицательная обратная связь из эмиттерной цепи третьего каскада через резистор R_{17}. Глубина обратной связи зависит от положения движка регулятора и максимальна тогда, когда движок находится в крайнем нижнем положении (громкость минимальна). При перемещении движка R_{10} к верхнему выводу коэффициент усиления второго и третьего каскадов будет увеличиваться, за счет этого диапазон регулирования несколько возрастает по сравнению с обычным включением регуляторов громкости. В усилителе предусмотрена возможность снижать выходную мощность в 4 раза за счет отрицательной обратной связи, поданной из коллекторной цепи транзистора T_2 в его базовую цепь. При этом цепь обратной связи R_{13}, R_{14}, C_7, C_8 одновременно осуществляет необходимую частотную коррекцию. Такой режим необходим для эксплуатации электронного органа в малых помещениях во время репетиций.

В положении *Громко* переключателя цепь обратной связи отключается. Эмиттерный повторитель на транзисторе T_4 улучшает согласование между выходом третьего каскада и схемой регулировки тембра. Каскады на транзисторах T_5, T_6 компенсируют ослабление, вносимое схемой регулировки тембра, и дополнительно усиливают сигнал до уровня, необходимого для работы усилителя мощности.

Эмиттерный повторитель на транзисторе T_7 служит для подключения контрольных головных телефонов.

Экспериментальной проверкой выявлена следующая характеристика усилителя:

Полоса пропускания на уровне 0,7 . . .	От 20 Гц до 30 кГц
Пределы регулирования тембра на частоте:	
50 Гц	+17 дБ —12 дБ
10 кГц	+15 дБ —12 дБ
Максимальное выходное напряжение, В, не менее	3,5
Нелинейные искажения в полосе частот от 50 Гц до 12 кГц при выходном напряжении 1 В, не более	0,1%

Принципиальная схема усилителя мощности изображена на рис. 21. Первые два каскада (транзисторы T_1 и T_2) работают в режиме усиления напряжения по схеме с общим эмиттером. Общий коэффициент усиления этих каскадов получается около 4 000.

Последующие каскады имеют коэффициент усиления по напряжению, равный единице, но большое усиление по мощности.

Усилитель охвачен глубокой отрицательной обратной связью через резисторы R_6 и R_5. В результате действия отрицательной обратной связи общий коэффициент усиления падает до 15, что

соответствует глубине обратной связи около 50 дБ. Такая глубокая обратная связь обеспечивает получение высоких качественных показателей усилителя.

Потенциометр R_9 служит для установки начального тока выходных транзисторов T_8 и T_9. Нормальный начальный ток примерно равен 70 мА.

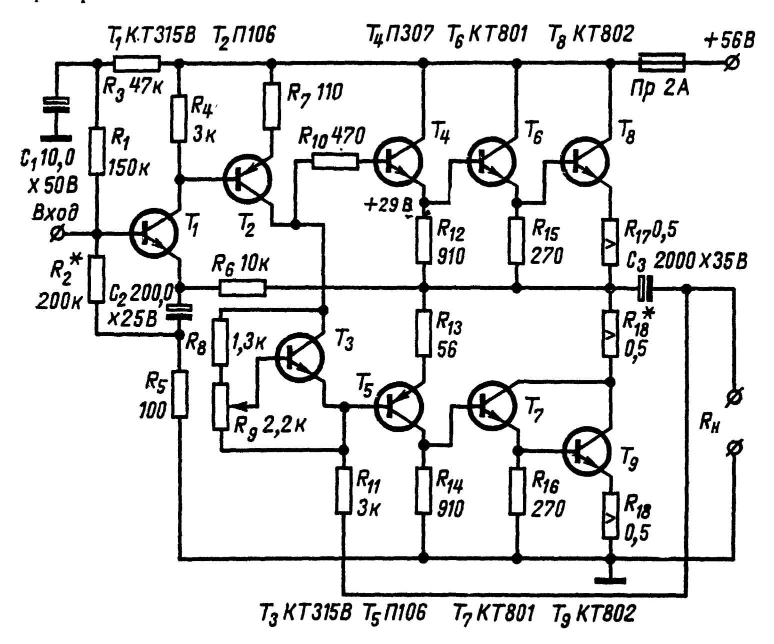


Рис. 21. Принципиальная схема усилителя мощности.

Перед установкой пары транзисторов T_6—T_7 и T_8—T_9 необходимо подобрать так, чтобы разброс их параметров не превышал 10%.

Нагрузка подключается к выходу усилителя через разделительный конденсатор C_3. Нагрузкой служит трёхполосная акустическая система. Разделение полосы частот производится посредством LC-фильтров.

Границы раздела выбраны на частотах 500 Гц и 5 кГц.

Принципиальная схема акустической системы приведена на рис. 22.

В качестве низкочастотных выбраны громкоговорители типа 6ГД2 от радиолы «Симфония». В средней полосе звуковых частот работают два громкоговорителя типа 4ГД8Е, а в высокочастотном участке — типа 1ГД2. Внутри каждой группы громкоговорители включены параллельно.

Входное сопротивление акустической системы приблизительно равно 4 Ом во всей полосе звуковых частот. LC-фильтры обеспечивают затухание около 12 дБ на октаву.

Дроссели фильтров намотаны на сердечнике из трансформаторной стали сечением УШ 16×16 с зазором 0,5 мм. Изменяя величину зазора в сердечнике, можно подобрать необходимую индуктивность дросселя с большой точностью. В фильтрах используются конденсаторы типа МБГО на 160 В. Максимальная мощность акустической системы около 20 Вт. Выходная мощность оконечного усилителя имеет выходную мощность, значительно превышающую пиковую мощность акустической системы (под пиковой мощностью акустической системы принято понимать кратковременное воздействие сигнала звуковой частоты на вход акустической системы).

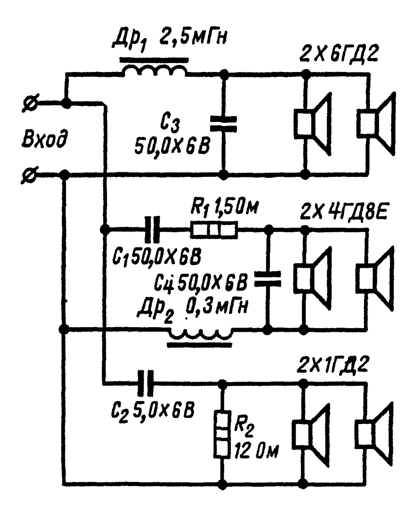


Рис. 22. Принципиальная схема акустического агрегата.

Как показали исследования, обычные динамические громкоговорители выдерживают двукратные кратковременные перегрузки без значительного ухудшения качества звучания в случае низкого выходного сопротивления оконечного усилителя. Такое двукратное превышение выходной мощности усилителя дает возможность в случае использования электронного органа в большой аудитории подключать звуковую колонку повышенной мощности параллельно без ухудшения качества звучания.

Блок питания. Блок питания, схема которого изображена на рис. 23, обеспечивает получение следующих выпрямленных стабилизированных напряжений: +56 В при токе нагрузки 1,5 А; +26 В при токе нагрузки 0,2 А; +12 В при токе нагрузки 0,5 А; +20 В при токе нагрузки 50 мА; —7 В при токе нагрузки 0,3 А.

Таблица 3

Обмотка	Номер вывода	Тип и диаметр провода	Число витков
Сетевая обмотка I	1; 2; 3	ПЭВ-2 ∅ 0,74+0,51	336+280
Обмотка II	4; 5; 6	ПЭВ-2 ∅ 0,93	2+64
Обмотка III	7; 8	ПЭВ-2 ∅ 0,55	45
Обмотка IV	9; 10	ПЭВ-2 ∅ 0,47	34

Стабилизаторы на 56 В и 12 В имеют повышенный коэффициент стабилизации, а остальные собраны по простейшей схеме. Стабилизатор на 56 В имеет схему ограничения тока нагрузки

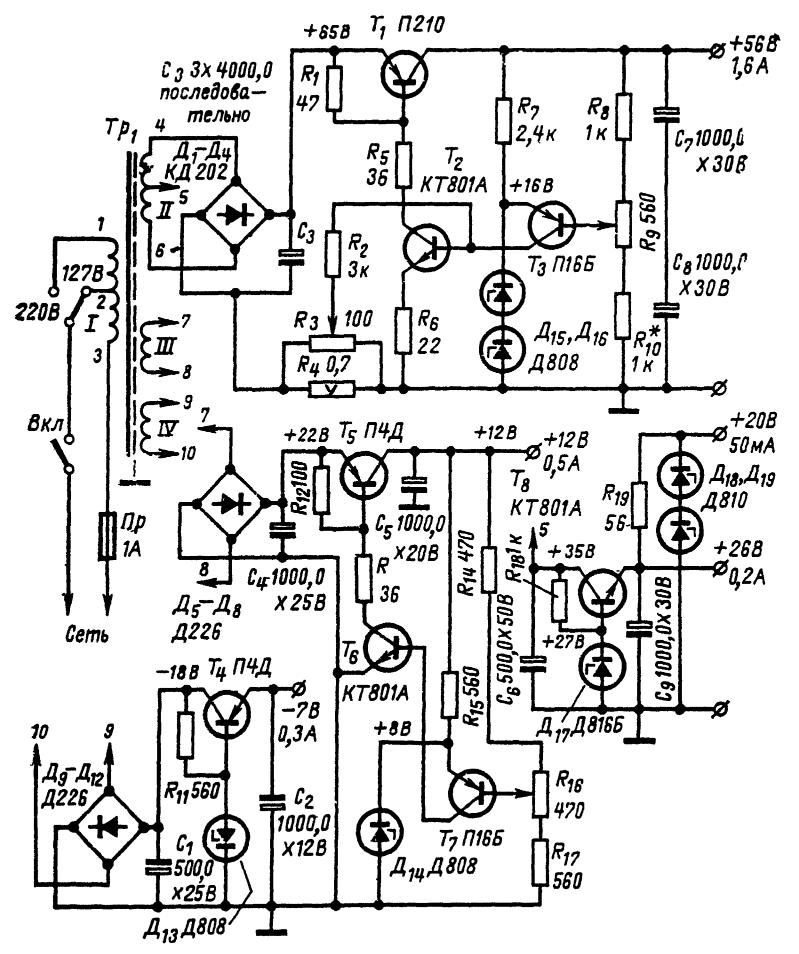


Рис. 23. Принципиальная схема блока питания. Все резисторы мощностью 0,5 Вт.

(R_2—R_4). Потенциометры R_9 и R_{16} служат для установки напряжений +56 В и +12 В соответственно.

Силовой трансформатор общей мощностью 110 Вт выполнен на сердечнике УШ 30×45. Первичная обмотка имеет отвод для подключения к сети напряжением 127 В.

Данные трансформатора приведены в табл. 3.

Заказ № 227

КОНСТРУКЦИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ОРГАНА

Задающие генераторы, преобразователи формы, делители частоты и манипуляторы. Конструктивно задающие генераторы, делители частоты и манипуляторы выполнены на отдельных гетинаксовых платах печатным способом. Генераторы и преобразователи формы собраны на общей плате размером 135×75 мм (рис. 24), размещенной в верхней части корпуса. Здесь же укреплены 12 переменных резисторов для периодической подстройки частоты генераторов. Сверху они закрыты общей металлической крышкой. Делители частоты и манипуляторы также выполнены печатным способом на отдельных гетинаксовых платах (рис. 25, *а, б, в, г*). Каждая плата имеет выводы из миллиметрового посеребренного провода для подключения.

После монтажа и проверки на работоспособность отдельных плат из них собирается модуль, в который входят 7 делителей частоты и 14 манипуляторов — 7 для верхней и 7 для нижней клавиатур. Этот модуль собирается также на печатной плате (рис. 26). После сборки модуль целесообразно еще раз проверить на работоспособность. Всего таких модулей 12, т. е. на каждый тон.

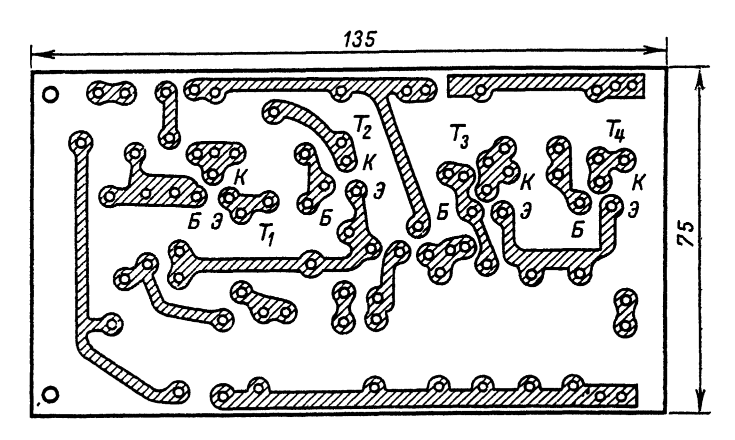


Рис. 24. Печатная плата задающего генератора и преобразователя формы.

Все 12 модулей собираются в общий блок с помощью металлических уголков и общей гетинаксовой панели с лепестками для распайки выводов от модулей и присоединения их к общей схеме. Этот блок располагается в корпусе параллельно клавиатурам.

Генераторы частотного и фазового вибрато выполнены на таких же печатных платах, как и задающие генераторы, и установлены в непосредственной близости от них.

Магнитный ревербератор. Основу конструкции ревербератора составляет горизонтальная панель, на которой сверху размещены направляющие ролики, прижимной ролик и магнитные головки (рис. 27). Для обеспечения постоянного натяжения магнитной

ленты один направляющий ролик выполнен качающимся на пружине. На нижней стороне панели размещены электродвигатель типа АД-2, платы усилителя записи и выходного усилителя, генератор стирания и подмагничивания, блок усилителей воспроизведения и маховик для стабилизации скорости движения ленты. Маховик с ведущим валом взят от магнитофона «Комета-201». Скорость движения магнитной ленты выбрана равной 310 мм/с. На рис. 28 изображены чертежи основных деталей ревербератора.

Неподвижные ролики (их всего 5 шт.) устанавливаются на несущей панели совместно с текстолитовыми втулками и шайбами (по 5 шт. каждая), которые снижают уровень шума подшипников.

Подвижный ролик, который обеспечивает натяжение петли магнитной ленты, устанавливается в ближнем левом углу так, чтобы перемещение его происходило под углом 45° к передней грани несущей панели.

В качестве возвратной пружины используется пластина из фосфористой бронзы толщиной 1 мм. В средней части панели размещаются магнитные головки в следующей последовательности по ходу ленты: стирающая, головка записи и далее воспроизводящие головки по порядку их номеров на структурной схеме (см. рис. 15). Головки размещены по дуге окружности так, чтобы магнитная лента уверенно касалась рабочих зазоров всех головок одновременно.

Расстояние между головкой записи и первой воспроизводящей по дуге должно быть минимальным и дальше несколько увеличиваться от головки к головке в среднем на 10—15%.

Магнитные головки прикреплены к стальным пластинкам толщиной 2 мм, а они в свою очередь двумя винтами М2,5 крепятся к несущей панели. Между несущей панелью и пластинками, на которых укреплены головки, помещаются прокладки из вакуумной резины толщиной 1 мм. Точная установка зазоров магнитных головок относительно ленты осуществляется путем дополнительного подтягивания крепежных винтов.

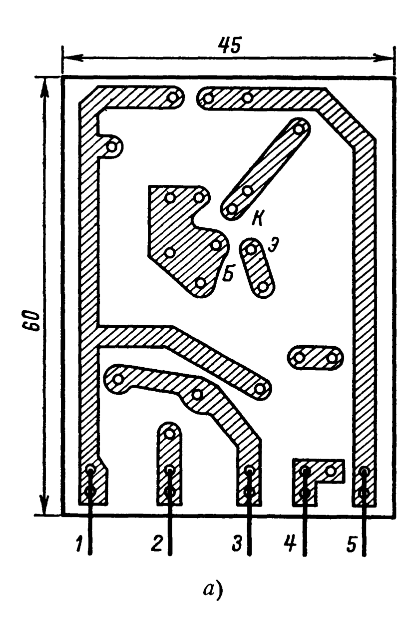
Прижимной ролик и ведущий вал установлены так, чтобы ведущий вал находился со стороны основы магнитной ленты. В этом случае магнитная лента и ведущий вал меньше изнашиваются. Прижимной ролик укреплен на качающейся пластине из дюралюминия толщиной 3 мм. Другая сторона этой пластины оттягивается пружиной.

После окончательной сборки, механизм необходимо тщательно выверить и отладить. Нужно добиться, чтобы лента легко перемещалась рукой при отжатом прижимном ролике и без рывков протягивалась электродвигателем.

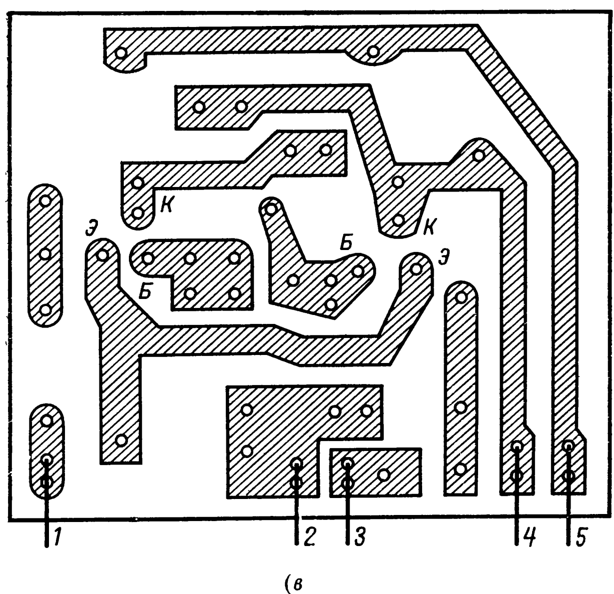
Монтаж всех электрических блоков ревербератора выполнен обычным способом на лепестках и монтажных пистонах. С нижней стороны панели для подключения ревербератора к общей схеме предусмотрен 10-контактный разъем РП-10.

Конструкции клавиатуры и контактной системы. Обе клавиатуры взяты от серийно выпускаемого электрооргана типа «Юность», но контактная система заменена самодельной. Для верхней клавиатуры контактная группа каждой клавиши состоит из пяти пар контактов, а для нижней — из четырех пар контактов.

Изготовление контактной системы — одна из трудоемких работ при изготовлении ЭМИ в любительских условиях. От выбранной

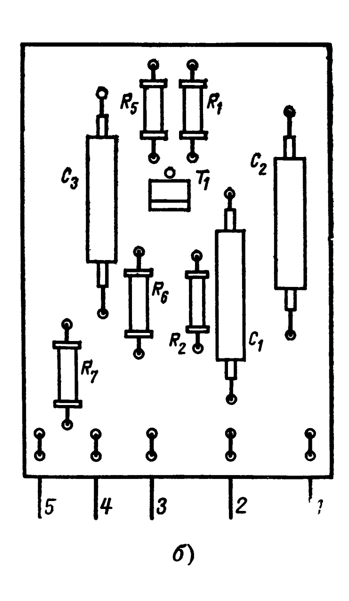


а)



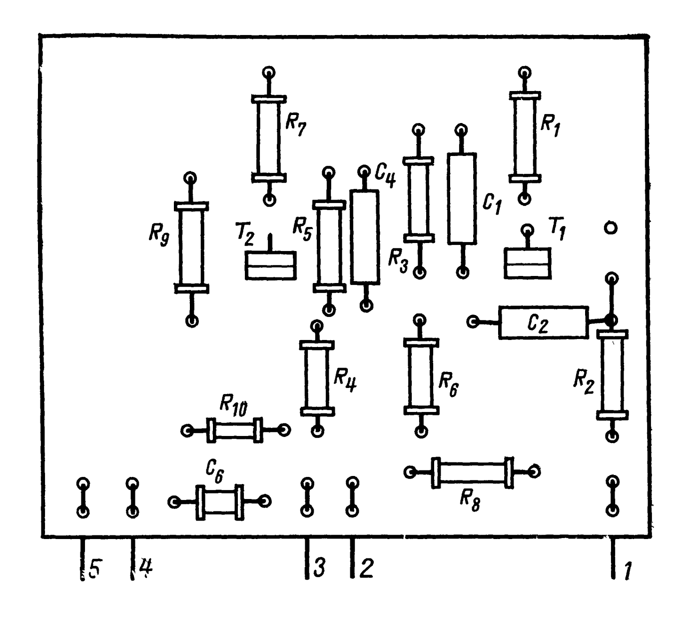
(*в*

Рис. 25. Печатные платы манипулятора (*а*, *б*) и делителя частоты (*в*, *г*).



R_5
R_1
C_3
T_1
C_2
R_6
R_2
C_1
R_7
5
4
3
2
1

б)



R_7
R_1
C_4
C_1
R_9
T_2
R_5
T_1
R_3
C_2
R_4
R_6
R_2
R_{10}
C_6
R_8
5
4
3
2
1

конструкции контактной системы во многом зависит надежность работы инструмента. Различного рода упрощения, например использование простейших проволочных контактов, могут свести к нулю все достоинства изготовленного ЭМИ.

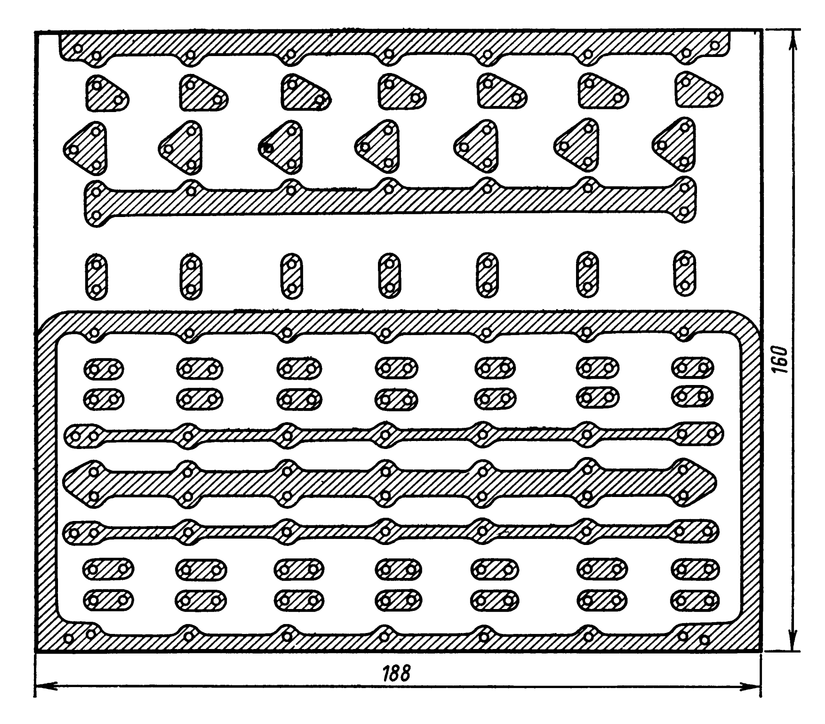


Рис. 26. Сборная плата для 7 делителей частоты и 14 манипуляторор

В процессе конструирования описываемого органа были проверены несколько вариантов контактной системы и выбран наиболее простой и надежный в эксплуатации. Эта конструкция контактной системы в течение трех месяцев испытывалась в сыром помещении и показала высокую работоспособность. Основными элементами контактной системы являются контакты — верхний и нижний (рис. 29). Они изготовлены из фосфористой бронзы толщиной 0,3 мм и тщательно отникелированы. Еще лучше для контактов применить бериллиевую бронзу. В этом случае они будут более долговечны в эксплуатации. Всего в электронном органе потребуется 902 контакта, из которых 451 верхних и столько же нижних.

Прежде чем приступить к изготовлению контактов, потребуется предварительно изготовить приспособление по чертежу, изображенному на рис. 30. Это приспособление значительно упростит операцию по сверловке и штамповке заготовок для контактов. С его

помощью будет просто сверлить отверстия и штамповать контактные выпуклости.

Кроме того, до начала сборки контактной системы, необходимо изготовить шесть стальных планск размером 630×10×2 мм для стяжки контактной системы, 12 шт. латунных шин, к которым припаиваются нижние контакты, как показано на рис. 31, размером 630×10×0,2 мм, нарубить 10 шт. пластин из гетинакса размером 630×12×2,5 мм и 15 шт. размером 630×12×2 мм. Теперь осталось изготовить винипластовый изолятор. Для этого берется винипластовый стержень для сварки, диаметром 4 мм, который нагревается и растягивается до диаметра 2,5 мм. При остывании он затвердевает в растянутом состоянии. С помощью бокорезов нарезают из него отрезки длиной по 15—20 мм. Таких отрезков потребуется 197 шт. на все клавиатуры. Заготовленные винипластовые отрезки вставляются наполовину в отверстие контактов и нагреваются. При нагревании винипласт возвращается к своему первоначальному диаметру 4 мм и прочно закрепляется на контакте. После этой операции нужно срезать излишек винипласта. Для этого целесообразно изготовить вспомогательный кондуктор, чтобы срезы были одной длины, равной 5 мм.

Когда изготовление всех деталей закончено, начинается сборка шин с нижними контактами посредством пайки, как показано на рис. 31, и полная сборка контактной системы по схеме, приведенной на рис. 32.

Стягивание контактной системы производится винтами М3 в промежутках между контактами. Для этого в нижней стальной планке целесообразно нарезать резьбу, чтобы не применять гаек. Это значительно облегчит сборку контактной системы. После полной сборки ее выполняется рихтовка замкнутых пар контактов. Для этой операции потребуется изготовить несложные приспособления, изображенные на рис. 33. Деталь *1* служит для рихтовки контактов, а деталь *2* для рихтовки толкателей клавиши. Собранная контактная система укрепляется на каркасе клавиатуры взамен снятой стандартной.

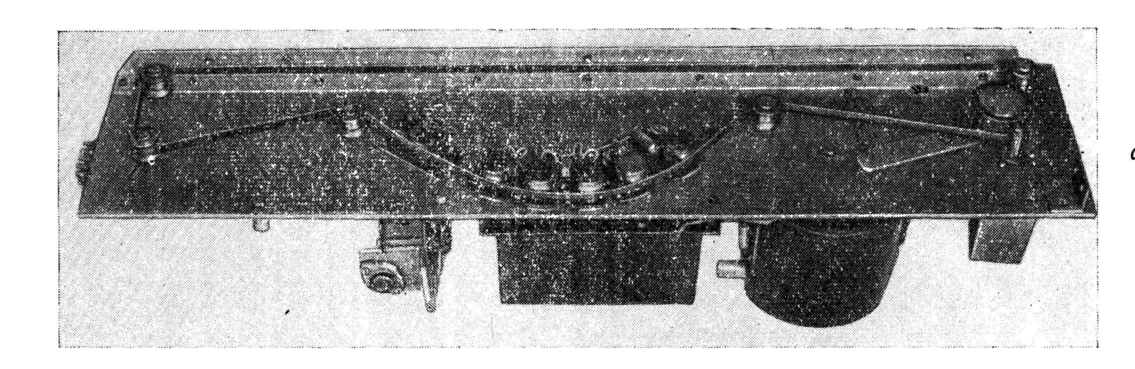
Устройство бесконтактного регулирования громкости, блоки тремоло и фазового вибрато; предварительный и суммирующие усилители. Одним из основных элементов бесконтактной педали является фотодатчик (рис. 34). Он состоит из корпуса *1*, в торцах которого укреплена лампа накаливания *5* и фотодиод *2*. В средней части цилиндра имеется паз для заслонки, которая механически связана с педалью громкости.

Перемещение педали громкости влечет за собой перемещение заслонки и тем самым открывает или закрывает поток света от лампы накаливания к фотодиоду. Форма заслонки выбрана так, чтобы получить определенный закон изменения потока света.

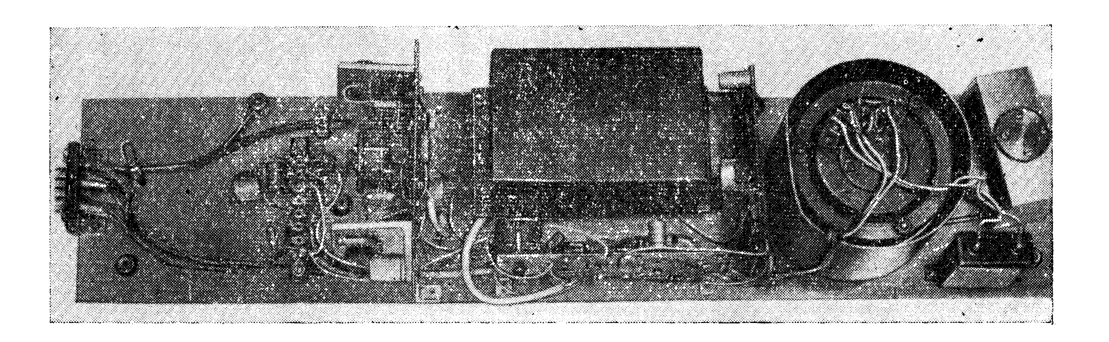
Педали громкости и демпфирования изготовлены из дюралюминия АТ толщиной 4 мм. Педали — свободно качающиеся без возвратной пружины, т. е. ось вращения педалей находится в их средней части. Такая конструкция педалей меньше утомляет исполнителей и позволяет зафиксировать любое промежуточное положение по желанию.

Педаль демпфирования имеет аналогичное устройство, только механическая тяга в этом случае включает микровыключатель.

Схема устройства бесконтактного управления громкостью смонтирована на гетинаксовой плате размером 520×200×3 мм, которая



а)



б)

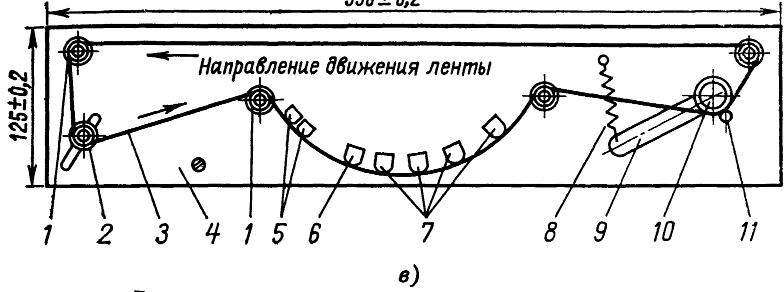


Рис. 27 Внешний вид магнитного реверберaтора.

а — вид сверху; *б* — вид снизу; *в* — сборочный чертеж верхней панели магнитного ревербератора; *1* — ролик; *2* — подвижный ролик; *3* — магнитная лента; *4* — несущая панель; *5* — стирающие головки; *6* — записывающая головка; *7* — воспроизводящие головки; *8* — пружина; *9* — рычаг; *10* — прижимной ролик; *11* — ведущий вал.

размещена под клавиатурами. На этой же плате смонтированы суммирующие усилители, блоки тремоло и фазового вибрато, а также предварительный усилитель. Монтаж выполнен обычным навесным способом на пистонах. Снизу плата закрывается крышкой из оргалита. Все подстроечные элементы расположены так, чтобы, открыв защитную крышку, имелась возможность их подрегулировать.

Соединительные провода между предварительным усилителем и выносными элементами для управления громкостью и частотной характеристикой выполнены экранированным проводом сечением 0,12 мм^2.

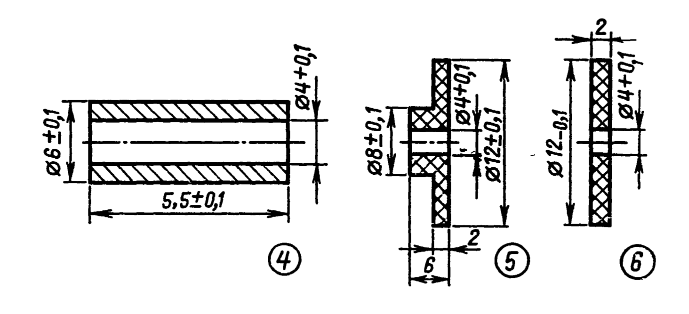
Усилитель мощности и блок питания. Усилитель мощности собран на отдельной плате размером 200×120×4 мм и выполнен навесным монтажом на монтажных лепестках. Здесь же на плате укреплены радиаторы мощных выходных транзисторов и два переходных конденсатора 4000×25 В, которые включены последовательно для повышения рабочего напряжения. Усилитель мощности размещен на боковой стенке в нижней части корпуса электрооргана и соединен с выходом предварительного усилителя экранированным проводом через разъединительный разъем РП10. Выход усилителя мощности соединен с нагрузкой не экранированным проводом сечением 1 мм^2 без разъема.

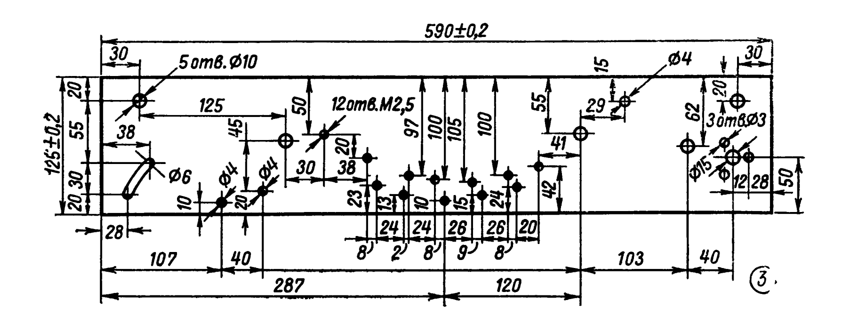
Радиаторы для мощных выходных транзисторов должны обеспечить теплоотвод не менее 10 Вт каждый, так как в режиме покоя они рассеивают мощность около 5 Вт, а при 75% максимальной мощности рассеиваемая мощность возрастает до 20 Вт.

Блок питания также смонтирован на плате из гетинакса.

Радиаторы проходных транзисторов стабилизаторов на 56 и 12 В рассчитаны на рассеиваемую мощность 10 и 8 Вт соответственно, остальные — по 5 Вт каждый. Силовой трансформатор, выпрямительные диоды и конденсаторы фильтров собраны вместе на другой плате из гетинакса толщиной 5 мм.

Плата со стабилизаторами укреплена на передней стенке корпуса с целью лучшего охлаждения, а плата с трансформатором и конденсаторами установлена в нижней части корпуса.





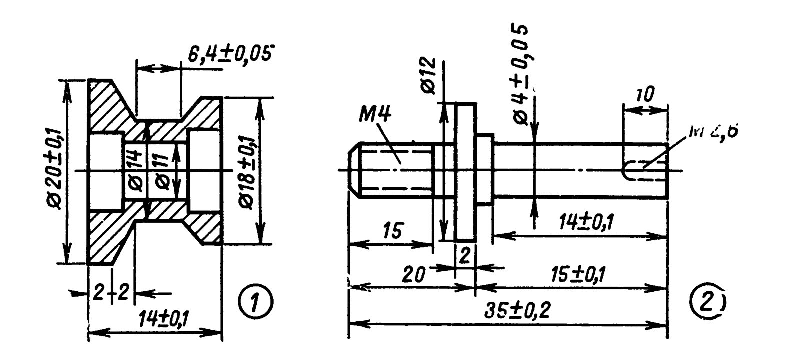


Рис. 28. Детали магнитного реверберaтора.

1 — ролик (латунь. После механической обработки никелировать); 2 — валик (сталь. После механической обработки калить, а поверхность под подшипник шлифовать); 3 — несущая панель (дюралюминий Д16АТ толщиной 5 мм); 4 — втулка к подвижному ролику (латунь. После механической обработки никелировать); 5 — текстолитовая втулка; 6 — текстолитовая шайба.

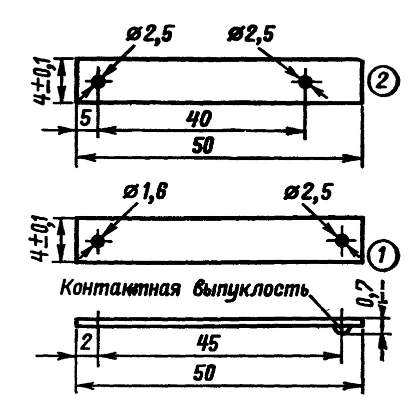


Рис. 29. Чертеж контактов (материал — фосфористая бронза толщиной 0,3 мм. После изготовления никелировать).

1 — верхний контакт; *2* — нижний контакт.

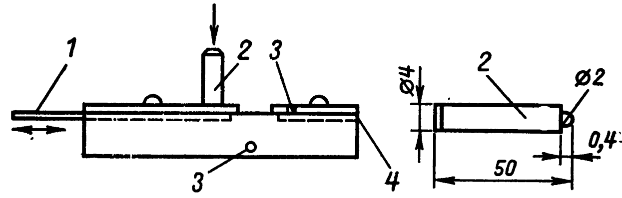


Рис. 30. Кондуктор для изготовления контактов (материал кондуктора — латунь. Материал пуансона сталь. Пуансон после механической обработки калить).

1 — контакт; *2* — пуансон; *3* — отверстие для сверления; *4* — гнездо для контакта.

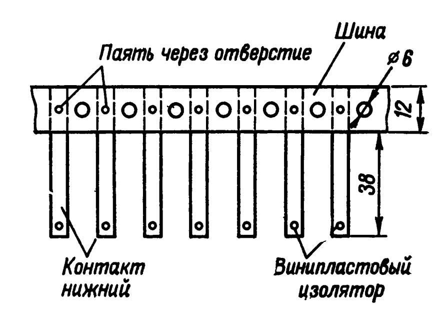


Рис. 31. Шина с нижними контактами в сборе (материал шины латунь толщиной 0,2 мм).

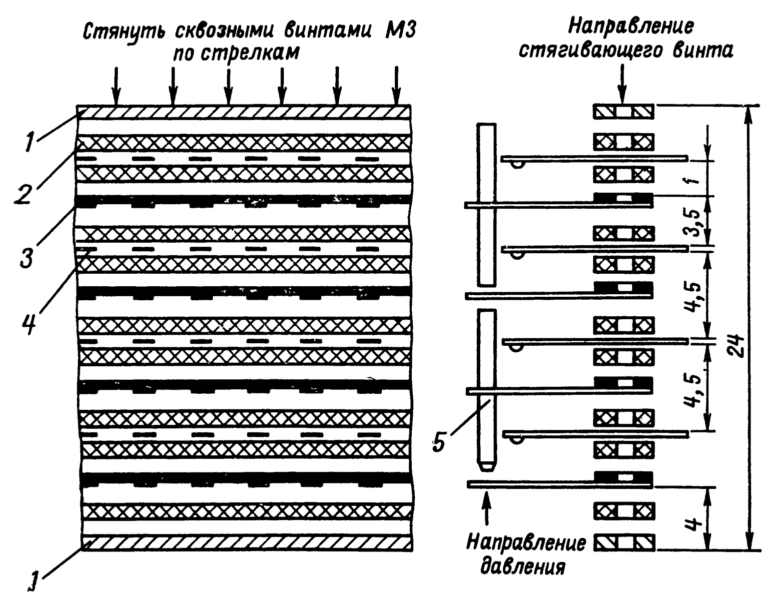


Рис. 32. Последовательность сборки контактной системы для нижней клавиатуры на четыре пары контактов.

1 — стальная пластина; 2 — гетинакс; 3 — шина с контактами; 4 — верхний контакт; 5 — винипластовый изолятор.

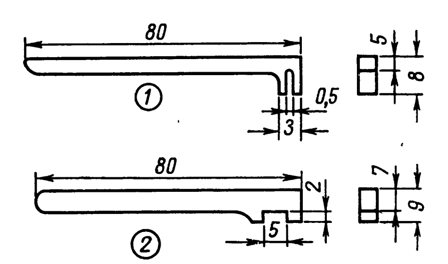


Рис. 33. Приспособления для рихтовки контактов и отладки толкателей после сборки контактной системы (материал латунь).

Соединение блока питания с общей схемой производится с помощью разъема РП10.

Корпус электронного органа. Корпус изготовлен из пустотелых фанерных щитов и отделан шпоном красного дерева. С целью удобства сборки и ремонта конструкция корпуса выполнена раз-

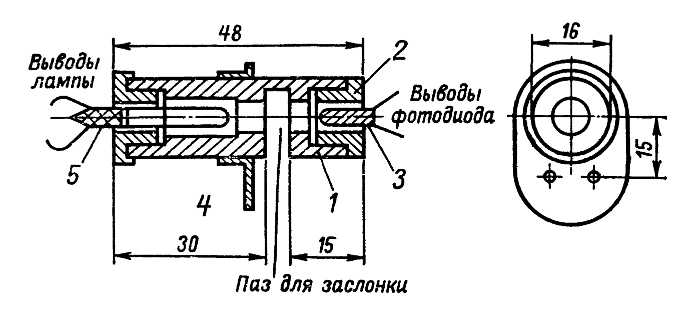


Рис. 34. Конструкция фотодатчика.
1 — корпус; *2* — фотодиод; *3* — крышка; *4* — шайба для крепления; *5* — лампа накаливания.

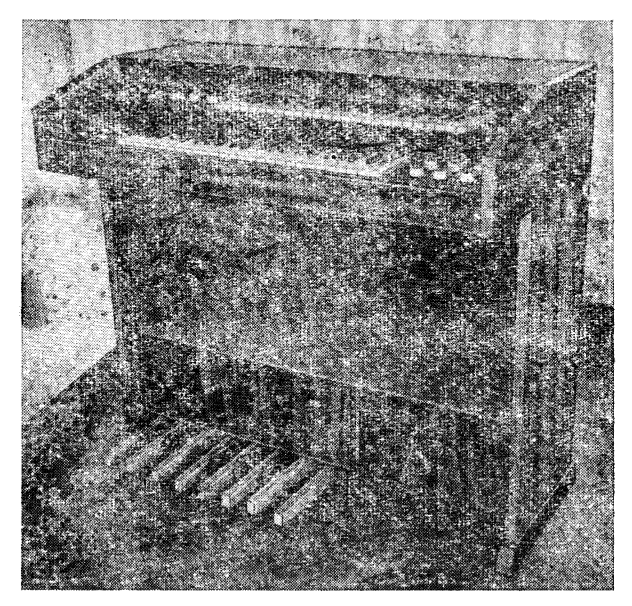


Рис. 35. Общий вид электронного органа.

борной, т. е. верхняя часть корпуса вместе с основной схемой может быть отделена. Для этого обе части имеют разъемные соединения. Кроме того, верхняя схемная часть корпуса имеет открывающуюся крышку на петлях, что облегчает периодическую подстройку задающих генераторов и смену кольца магнитной ленты ревербератора.

Внешний вид электрооргана показан на рис. 35—37.

На рис. 36 приведены его габариты.

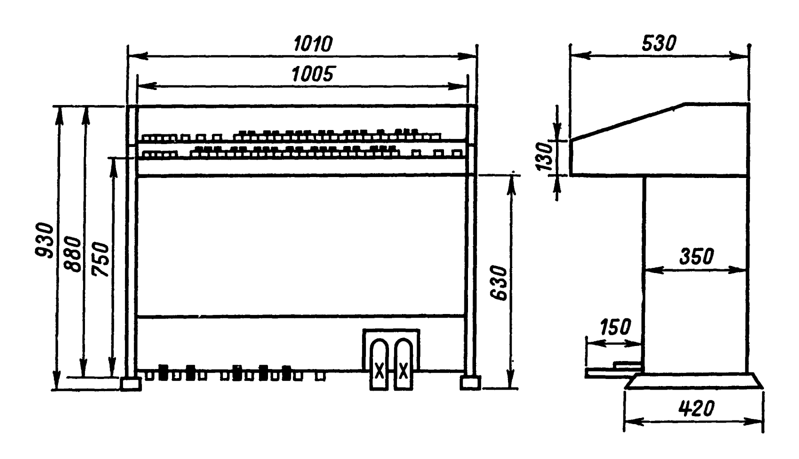


Рис. 36. Габаритный чертеж электронного органа.

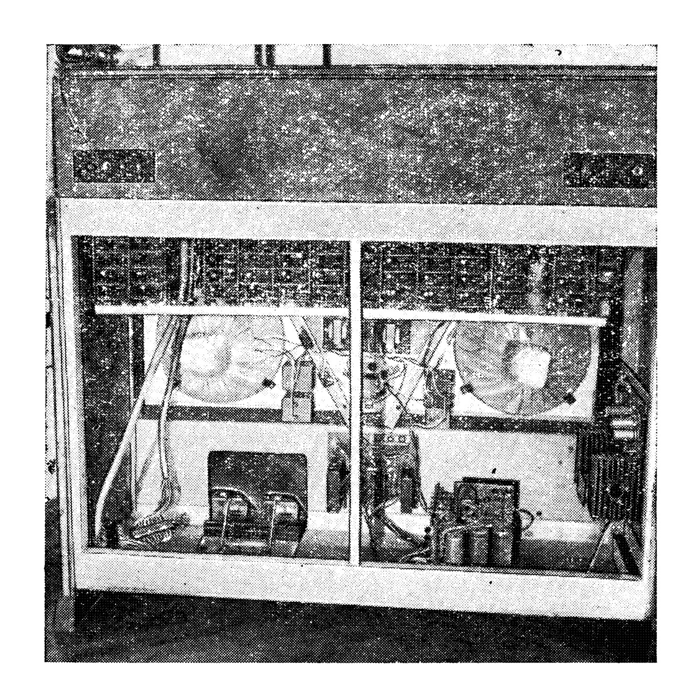


Рис. 37. Устройство электронного органа.
Вид сзади (задняя крышка снята).

Размещение всех органов управления на верхней панели показано на рис. 38 и 39.

Передняя панель нижней части корпуса изготовлена сплошной из выдержанной клееной осины. На ней размещены громкоговорители и фильтры. Эта панель прикрепляется к корпусу с помощью шести болтов М6. Снаружи панель обтянута декоративной тканью.

Конструкция педальной клавиатуры. Педальная клавиатура состоит из 13 педалей — 8 белых и 5 черных. Белые педали изготовлены из березовых брусков и покрыты несколькими слоями бесцветного нитролака. Черные педали изготовлены из березы и окрашены черным нитролаком также в несколько слоев. Все педали укреплены на планке из дюралюминия с помощью пластинок из фосфористой бронзы так, чтобы они имели свободное перемещение по вертикальной оси. В задней части каждой педали имеется толкатель для замыкания контактов при нажатии педали. Контактная система состоит из трех пар контактов. Собранная контактная система укрепляется сзади педалей на прямоугольном бруске и подключается к общей схеме с помощью 48-контактного разъема типа МРН.

Сборочный чертеж педальной клавиатуры приведен на рис. 40.

НАЛАЖИВАНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ОРГАНА

Для налаживания инструмента необходимы следующие приборы: ампервольтомметр, звуковой генератор, осциллограф, измеритель частоты звуковых частот с погрешностью измерения не более 0,25%, вспомогательный усилитель низкой частоты с акустической системой (можно использовать обычный радиоприемник). Отсутствие измерительных приборов значительно усложнит наладочные работы.

Вначале налаживается блок питания, прежде всего стабилизатор напряжения 56 В. Определяют наличие постоянного напряжения на электролитических конденсаторах на входе стабилизатора (70 В) и диапазон регулировки выходного напряжения потенциометром R_9. При перемещении движка в крайние положения напряжение на выходе стабилизатора должно изменяться от 62 В до 47 В. Если это не соблюдается, то проверяют значение напряжения на эмиттере транзистора T_3 (16 В) и подбирают величину резистора R_{10}. Наладку стабилизатора лучше проводить при токе нагрузки около 200 мА. С помощью потенциометра R_3 устанавливают предельное значение тока нагрузки 1,7 А.

Аналогично налаживают стабилизатор напряжения 12 В; его выходное напряжение должно регулироваться в пределах от 9 до 14 В. Стабилизаторы на —7 и +26 В собраны по простейшей схеме, и налаживание их сводится к проверке правильности монтажа.

В заключение необходимо проверить эффективность стабилизации. Для этого с помощью автотрансформатора напряжение сети изменяют от 200 до 240 В и определяют изменение выходного напряжения на выходе каждого стабилизатора. Это изменение должно быть более ±0,2% у стабилизаторов 56 и 12 В и не более ±0,5% у стабилизаторов 26 и —7 В. Величина пульсаций на выходе всех стабилизаторов должна быть не более 20 мВ.

Для налаживания задающих генераторов их поочередно подключают к источнику питания 20 В и с помощью осциллографа проверяют форму колебаний на выходе. Если колебания не возникают, уменьшают сопротивление резистора R_8 на 10—15%. Форма

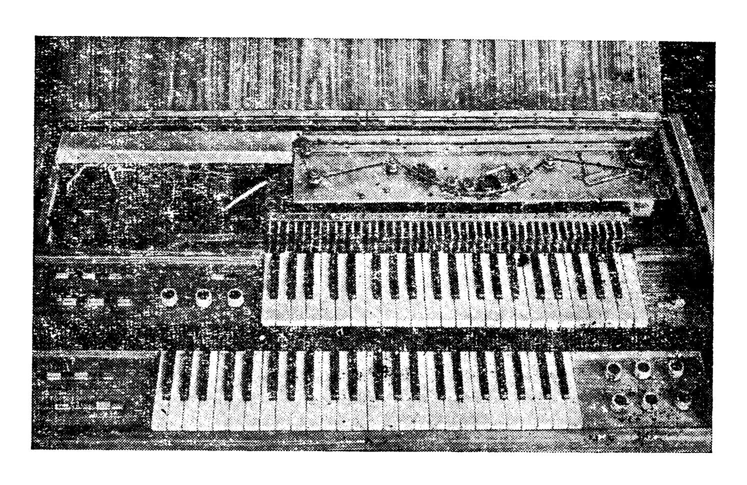


Рис. 38. Устройство электронного органа. Вид сверху.

сигнала задающего генератора должна быть близка к синусоидальной.

При наличии искажений необходимо уменьшить сопротивление R_{11} на 10—15%. Элементы C_1, C_3 и R_{10} нужно подобрать так, чтобы при номинальной частоте движок переменного резистора R_{15}

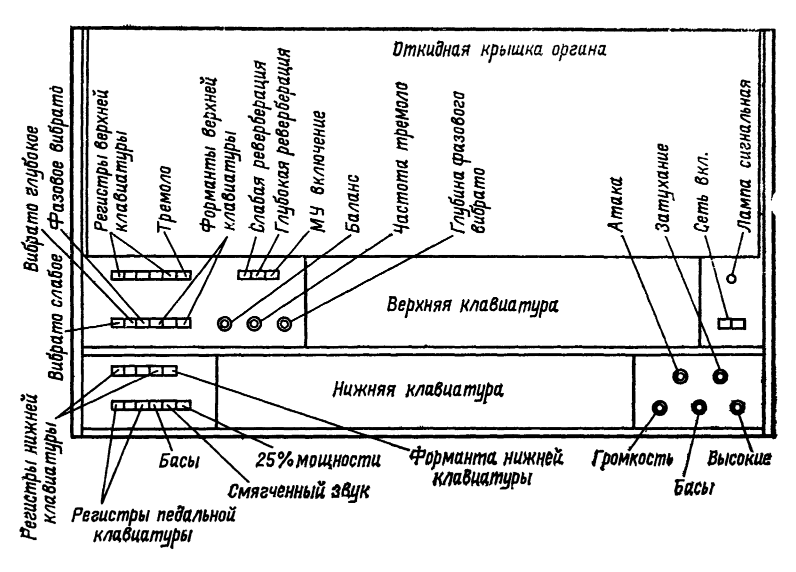


Рис. 39. Размещение органов управления на горизонтальной панели.

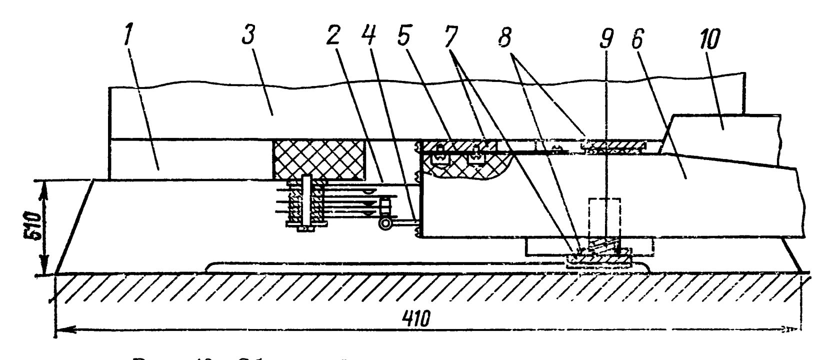


Рис. 40. Сборочный чертеж педальной клавиатуры.

1 — корпус; 2 — винипластовый изолятор; 3 — контактная система; 4 — толкатель; 5 — пластина из фосфористой бронзы; 6 — педаль длинная; 7 — планка дюралюминиевая; 8 — прокладка войлочная; 9 — пружина возвратная; 10 — педаль короткая.

был в среднем положении. Теперь осталось подключить преобразователь формы к источнику 12 В и проверить форму импульсов в коллекторной цепи транзистора T_5. Эти импульсы должны иметь крутые фронты. После того, как все 12 задающих генераторов налажены, их собирают в модуль и определяют, нет ли взаимного захвата частоты, при этом на выходе каждого преобразователя формы должны быть четкие прямоугольные импульсы. Если у некоторых преобразователей выходные импульсы имеют размытые фронты, то следует проверить развязку по цепям питания 20 и 12 В.

Делители частоты и манипуляторы не требуют предварительной наладки. Основным условием их хорошей работоспособности является правильный подбор транзисторов. Поэтому перед пайкой транзисторы должны быть проверены и подобраны так, чтобы величины коэффициентов усиления по току у каждой пары, предназначенной для работы в делителе частоты, не отличались более чем на $\pm 15\%$ в пределах от 45 до 70. Для манипуляторов разброс коэффициентов усиления по току у всех транзисторов не должен превышать $\pm 20\%$; средняя величина коэффициента усиления при этом может быть любой.

Окончательную проверку работоспособности делителей частоты проводят после сборки модуля делителей и манипуляторов. Для этого на вход первого делителя подают сигнал с любого задающего генератора и с помощью осциллографа просматривают сигналы на выходе каждого делителя частоты.

Если какой-то делитель не делит частоту, а только повторяет, следует в предыдущем делителе частоты подключить емкость между коллектором транзистора T_2 и шиной (см. рис. 6) +12 В величиной 270—430 пФ.

Таким способом поочередно налаживают все 12 модулей делителей частоты с манипуляторами. Окончательно проверку манипуляторов производят также в собранном модуле; с помощью осциллографа проверяют наличие сигнала на сборной шине.

Предварительно каждый манипулятор проверяют отдельно. Для этого на его вход от звукового генератора подают синусоидальный

сигнал частотой 1 000 гц напряжением 100 мВ. При открытом манипуляторе в коллекторной цепи транзистора должен быть усиленный сигнал неискаженной синусоидальной формы. Коэффициент усиления каскада манипулятора должен быть около 10; отдельные манипуляторы не должны отличаться по усилению более чем в 2 раза. В закрытом состоянии манипулятора уровень выходного сигнала должен быть более чем на 80 дБ, т. е. в 10 000 раз меньше полезного сигнала в открытом состоянии. Так как манипулятор работает в режиме малых токов, то уровень его собственных шумов значительно меньше сигнала пролезания.

В случае нормальной работы всей группы манипуляторов, на сборных шинах будут присутствовать импульсные напряжения от всех делителей одновременно, если запирающее напряжение —7 В не подается или, наоборот, полностью будут отсутствовать, если запирающее напряжение —7 В подано. Если какой-то манипулятор не работает, необходимо проверить все пайки на плате манипулятора и в неработающих манипуляторах установить работоспособность транзистора.

Налаживание суммирующих усилителей (см. рис. 8) заключается в проверке правильности монтажа и установке режима транзисторов, для чего на вход от звукового генератора подается сигнал величиной 50—100 мВ и резистор R_8 подбирают так, чтобы искажения выходного сигнала были минимальными. Коэффициент усиления суммирующих усилителей должен быть около 15—20.

Формантные фильтры перед установкой настраивают на частоты, указанные на рис. 9, подбором либо индуктивности, либо конденсаторов.

В заключение потребуется выровнить амплитуду выходного сигнала так, чтобы громкость звучания оставалась постоянной после включения формантного фильтра в общую схему электрооргана. Налаживание блока фазового вибрато начинают с проверки правильности монтажа. Режим транзисторов устанавливают подбором резисторов R_{23} и R_{30} (см. рис. 10). На вход подается сигнал от звукового генератора напряжением 50—100 мВ, а на выход включают осциллограф (генератор вибрато должен быть при этом выключен). Нужно добиться на выходе устройства фазового вибрато неискаженной синусоидальной формы сигнала во всем диапазоне звуковых частот. Заключительной операцией будет проверка работы фазовращателя. Подключается генератор фазового вибрато и определяется глубина вибрато. Если генератор не работает, то нужно уменьшить величину сопротивления резистора R_{12}. С помощью потенциометра R_{26} можно менять глубину вибрато, а потенциометром R_{13} выбирать наилучший режим работы полевого транзистора T_3 так, чтобы при самом глубоком вибрато отсутствовали искажения. Установка желаемой частоты вибрато осуществляется подбором резистора R_{16}.

Налаживание блока тремоло начинается с установки режима транзисторов T_2 и T_5 подбором величины резисторов R_4 и R_{13}.

Мультивибратор на транзисторах T_1 и T_4 должен заработать сразу после включения питания. Потребуется только выбрать необходимую форму и амплитуду напряжения так, чтобы на выходе схемы (эмиттер транзистора T_7) модулированный сигнал был симметричной формы. Атака сигнала должна быть быстрая, но не скачкообразная, а затухание — более длительным. Глубина модуляции может достигать 100%.

Подбором элементов R_{20}, C_9 и C_7 можно так изменить форму модулирующего напряжения, чтобы имитировалось звучание струны. Окончательную настройку блока тремоло лучше всего провести на слух с помощью вспомогательного усилителя низкой частоты и акустической системы. Дополнительная проверка блока тремоло и установка оптимальной величины модуляции производятся после полной сборки электрооргана.

Необходимый режим транзисторов в блоке бесконтактной педали выбирается подбором резисторов R_2, R_3 и R_{19} по минимальным искажениям выходного сигнала при входном напряжении 50—100 мВ.

Можно считать настройку блока законченной, если на выходе наблюдается хорошая синусоидальная форма сигнала, а амплитуда изменяется при перемещении педали громкости из одного крайнего положения в другое более чем в 100 раз. Выбор оптимального режима полевого транзистора производится потенциометром R_8.

В случае недостаточно плавного изменения уровня громкости при плавном перемещении педали необходимо изменить форму световой заслонки осторожным подпиливанием мелким напильником. Для полного закрывания полевого транзистора на его затвор требуется подать напряжение от 1 до 4 В (в зависимости от типа транзистора). В этом случае транзистор T_2 должен быть полностью закрыт.

Устройство управления нарастанием и затуханием звука особой наладки не требует, так как оно состоит из пассивных элементов, однако подбором резисторов $R_{доб}'$ и $R_{доб}'''$ потребуется выбрать диапазон изменения напряжений (см. рис. 13) на потенциометрах $R_{нар}$ и $R_{зат}$ так, чтобы манипуляторы были закрыты в любом положении потенциометра $R_{зат}$ и управлялись при любом положении потенциометра $R_{нар}$. Установка режима транзисторов в предварительном усилителе производится подбором резисторов R_2, R_{18} и R_{31} по минимальным искажениям выходного сигнала. При этом регуляторы тембра устанавливают в среднее положение, а регулятор усиления — в положение максимального усиления. При входном сигнале частоты 1 000 Гц напряжением 100 мВ выходной неискаженный сигнал должен быть не менее 1,5 В. Далее сигнал на входе увеличивают до появления ограничения сигнала на выходе; запас по перегрузке должен составлять не менее 2 раз.

Затем определяют пределы регулировки тембра на частотах 50 Гц и 12 кГц и проверяют работу схемы усиления в положении переключателя «Тихо». В положении переключателя «Басы» частотная характеристика должна иметь подъем в области низких звуковых частот на 9—10 дБ.

В усилителе мощности при налаживании с помощью потенциометра R_9 устанавливают начальный ток выходных транзисторов (70 мА), резистор R_2 подбирают так, чтобы на выходных транзисторах были одинаковые постоянные напряжения, равные половине напряжения питания (28±1 В). Далее на вход усилителя мощности через разделительный конденсатор емкостью 5 мкФ и резистор сопротивлением 3,3 кОм подается сигнал частотой 1 000 Гц, напряжением 100—200 мВ.

В качестве нагрузки на выход включается проволочное сопротивление типа ПЭВ-20 величиной 4 Ом; параллельно ему подключается осциллограф для контроля за формой выходного сигнала. Максимальное неискаженное напряжение на нагрузочном сопротив-

лении должно составлять 14 В, что соответствует выходной мощности 50 Вт. Тщательная отладка усилителя позволит повысить выходную мощность до 60 Вт. При самовозбуждении усилителя между базой и коллектором транзистора T_2 включают конденсатор емкостью около 100 пФ.

В заключение усилитель мощности проверяют совместно с предварительным усилителем. Далее приступают к наладке акустической системы; в первую очередь добиваются одинаковой фазировки всех громкоговорителей и проверяют частоты настройки LC-фильтров. На частотах раздела напряжение на звуковых катушках соответствующих громкоговорителей должно снизиться вдвое.

Окончательная проверка работоспособности акустической системы производится на слух в комплексе с оконечным усилителем низкой частоты.

При наличии высококачественного микрофона и вспомогательного широкополосного усилителя низкой частоты очень полезно провести измерение частотной характеристики акустической системы по звуковому давлению. Эти измерения необходимо проводить в относительной тишине и постараться обеспечить условия для меньшего отражения сигнала от стен комнаты.

Налаживание ревербератора, представляющего собой самостоятельный блок, можно проводить независимо от остальных блоков. Перед началом работы полезно изготовить удлинительный кабель, с помощью которого можно будет проще проводить полную стыковку ревербератора с электронным органом при наладке.

Отдельные блоки налаживают по обычной методике. Сначала устанавливают режимы транзисторов с помощью следующих элементов: в усилителе записи подбором сопротивлений резисторов R_2 и R_7, в усилителях воспроизведения — R_4; в выходном усилителе — R_4 и в генераторе стирания — R_2 и R_7.

Далее на вход усилителя записи подается сигнал частотой 1 000 Гц, напряжением 100 мВ. На выход усилителя записи параллельно записывающей головке подключают осциллограф, на экране которого просматривается форма сигнала. Коэффициент усиления усилителя записи на средних и низких частотах должен быть около 30. На высоких частотах усиление увеличивается в 3,5—4 раза за счет частотнозависимой отрицательной обратной связи (R_6, C_4). Максимальное неискаженное напряжение на выходе усилителя на всех частотах (от 100 до 8 000 Гц) должно быть не менее 3 В.

Коэффициент усиления выходного усилителя должен быть около 60. Цепочкой обратной связи R_6, R_5, C_3 подгоняется частотная характеристика, которая имеет завал на средних частотах (см. рис. 18) 450—2 000 Гц. Завал частотной характеристики на частотах выше 20 кГц производится цепочкой отрицательной обратной связи R_6C_4. Неискаженный сигнал на выходе усилителя должен быть не менее 2 В.

Усиление усилителя воспроизведения на средних частотах около 150. Имеется небольшой подъем частотной характеристики на низких частотах. На выходе каждого усилителя имеется резистор R_8 (см. рис. 17). Величины этих резисторов указаны на структурной схеме ревербератора (R_1—R_4) на рис. 15). При налаживании ревербератора их необходимо подобрать так, чтобы затухание сигнала носило экспоненциальный характер.

В заключение производится измерение отношения сигнал/шум в сквозном канале и проверка совместной работы ревербератора

и электронного органа. Отношение сигнал/шум должно быть не менее 40—50 дБ; если оно ниже, то необходимо определить характер помехи. Чаще всего это наводки на воспроизводящие головки от сети 50 Гц. Для устранения этой наводки необходимо тщательно проверить экранировку электродвигателя, головок и усилителей воспроизведения. С целью уменьшения наводок следует произвести фазировку головок воспроизведения. Для этого поочередно у каждой головки (начиная со второй) меняют подключение выводов и выбирают такое подключение, при котором помехи на выходе ревербератора минимальны (при отсутствии сигнала на входе).

Установка максимального значения времени реверберации осуществляется с помощью резисторов R_5 и R_6 (см. рис. 15). Глубина обратной связи выбирается так, чтобы при нажатой кнопке «Реверберация глубокая» не возникало самовозбуждение.

ОКОНЧАТЕЛЬНАЯ ОТЛАДКА И НАСТРОЙКА ЭЛЕКТРОННОГО ОРГАНА

Комплексную отладку электронного органа начинают с проверки схемы соединений, определения наличия питающих напряжений и работоспособности отдельных блоков в комплексе.

С помощью электронного осциллографа просматривают визуально наличие сигнала на сборных шинах при отпущенных клавишах и кнопках переключателей.

Такую предварительную наладку лучше проводить при отключенном мощном усилителе, чтобы предостеречь выход из строя усилителя и акустической системы в случае ошибок в схеме соединений. Для контроля в этом случае используется электронно-лучевой осциллограф, который подключают сначала к сборным шинам непосредственно, а потом к зажимам «Линейный выход» Если сигнал окажется на сборных шинах при отпущенных клавишах и кнопочных регистровых переключателях, то это означает — некоторые манипуляторы открыты и пропускают сигнал в сборную шину. Такая неисправность может быть из-за плохой пайки схемы манипулятора или ошибки в монтаже. Нормально на сборной шине присутствует «музыкальный шум», который просматривается на экране осциллографа при максимальном усилении вертикального усилителя осциллографа. Этот шум должен быть не менее чем в 100 раз меньше уровня полезного сигнала. Нужно стараться отладить так блоки манипуляторов, чтобы уровень музыкального шума снизить до наименьшего уровня

Далее поочередно проверяют работу каждой контактной пары. Для этого последовательно нажимают все клавиши и определяют наличие сигнала на сборной шине. Если при нажатии какой-либо клавиши на сборной шине сигнал отсутствует, то проверяют правильность включения диода развязки и его работоспособность, а также определяют наличие контакта в соответствующей паре контактов Постепенно устраняют все ненормальности в работе контактной системы, добиваясь четкой ее работы при нажатии клавиш в любой последовательности при среднем давлении на клавишу. По такой же методике отлаживают и контактную систему педальной клавиатуры с той только разницей, что здесь придется еще и выбрать правильное положение толкателей для получения надежных контактов в контактных парах.

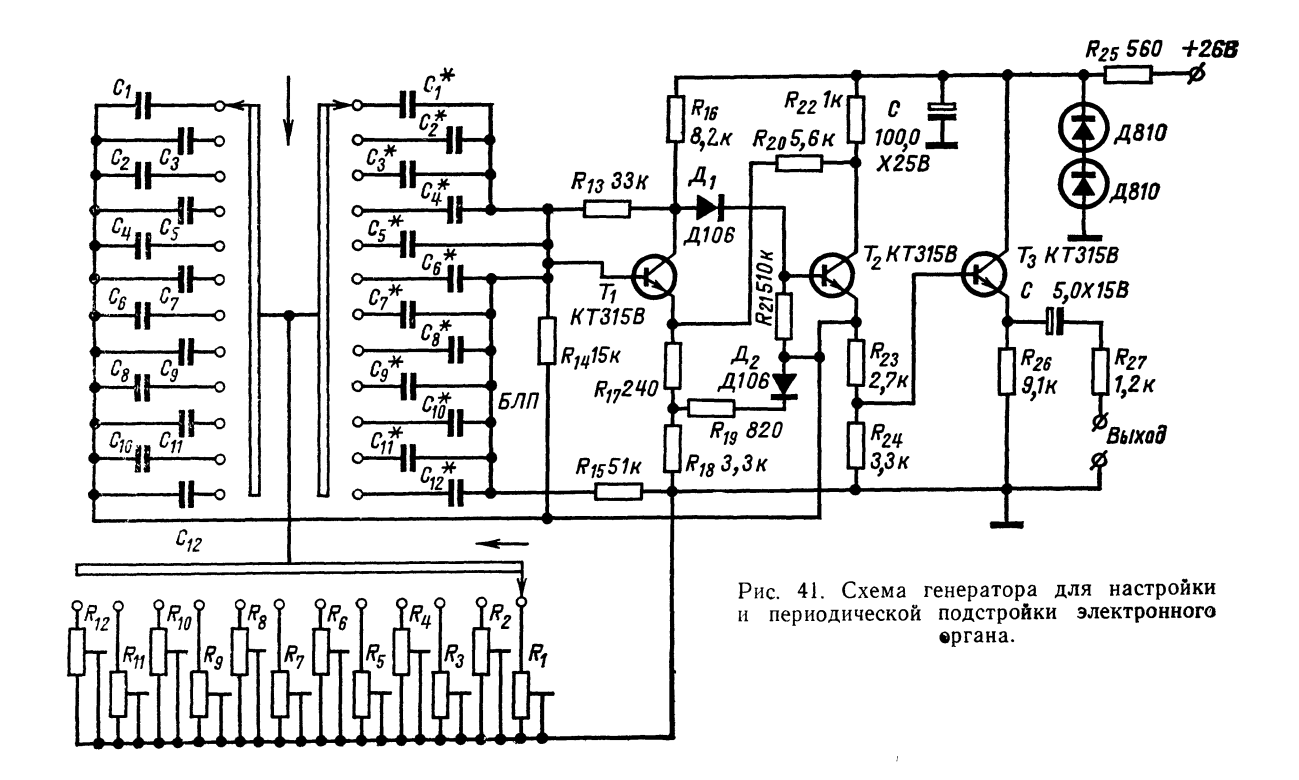


Рис. 41. Схема генератора для настройки и периодической подстройки электронного органа.

Далее поочередно проверяют работоспособность всех переключателей и органов управления, выбирают требуемый диапазон перестройки времени нарастания и затухания звука, подбирают необходимую глубину частотного и фазового вибрато, устанавливают время реверберации при малой и глубокой реверберации. При включении реверберации определяют устойчивость работы ревербератора и качество звучания по вспомогательному усилителю низкой частоты.

Далее приступают к отладке устройства управления уровнем громкости; выбирают правильную форму световой заслонки так, чтобы при перемещении педали громкость звучания плавно увеличивалась от минимума до максимума; проверяют работоспособность педали демпфирования звука.

После окончания комплексной отладки электронного органа подключают усилитель мощности, акустическую систему и определяют качество звучания на слух. На этом работу по комплексной отладке можно считать законченной.

В заключение необходимо произвести настройку электронного органа по шкале частот, которая приведена в табл. 1. Наиболее точную настройку можно осуществить с помощью электронно-счетного частотомера.

Для настройки электронного органа после наладки очень полезно воспользоваться вспомогательным генератором на 12 фиксированных частот, соответствующим 12 основным звукам одной октавы. Такой генератор может быть изготовлен отдельным независимым блоком; после сборки и наладки электронно-счетным частотомером выставляют все 12 фиксированных частот колебаний с погрешностью не более 0,15%. После этого подстроечные резисторы фиксируются. Принципиальная схема такого генератора приведена на рис. 41. Наладка генератора после сборки совершенно аналогична наладке задающих генераторов электронного органа. Чтобы стабильность генерируемых колебаний была не ниже 0,15%, конденсаторы C_1—C_{12} должны быть типа КСО, а резисторы R_1—R_{12} должны состоять из двух последовательно включенных постоянного типа ВС сопротивлением 1 кОм и переменного сопротивлением 560 Ом типа СПО-1 для точной подстройки частоты генерации.

Такой генератор имеет повышенную стабильность частоты колебаний и может быть использован для периодической подстройки задающих генераторов в процессе эксплуатации.

При его отсутствии следует пользоваться традиционными методами настройки музыкальных инструментов, например широко известным способом настройки по ступеням квинтового круга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Володин А. А.** Электромузыкальные инструменты. М., «Энергия», 1970.

2. **Волошин В. И., Федорчук Л. И.** Электромузыкальные инструменты. М., «Энергия», 1971.

3. **Вингрис Л. Т., Скрин Ю. А.** Любительские конструкции многоголосых электромузыкальных инструментов. М., «Энергия», 1964.

4. **Паулин З.** Чудеса звука. Перевод с чешского Жолобовой. М., «Энергия», 1965.

5. **Симонов И. Д.** Новое в электромузыкальных инструментах. М., «Энергия», 1966.

6. **Гендин Г. С.** Высококачественное звуковоспроизведение. М., «Энергия», 1970.

7. **Карпов В. И.** Полупроводниковые компенсационные стабилизаторы напряжения и тока. М., «Энергия», 1967.

8. **Корольков В. Г.** Электрические схемы магнитофонов. М., «Энергия», 1959.

9. **Schwarrig D.** Ein Nachhallgerat mit Mischpult und Dreikanalentzerrung.— «Funkamateur», 1970, № 7, S. 327—328.

10. **Salomon P.** Ein Echo — Hallgerät.— «Funkamateur», 1970, № 5, S. 222—225.

Оглавление

Цена 16 коп.

